



# Etude biomécanique de la mimique faciale

Stéphanie Dakpé

## ► To cite this version:

Stéphanie Dakpé. Etude biomécanique de la mimique faciale. Biomécanique [physics.med-ph]. Université de Technologie de Compiègne, 2015. Français. NNT : 2015COMP2203 . tel-01376215

**HAL Id: tel-01376215**

**<https://theses.hal.science/tel-01376215>**

Submitted on 4 Oct 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

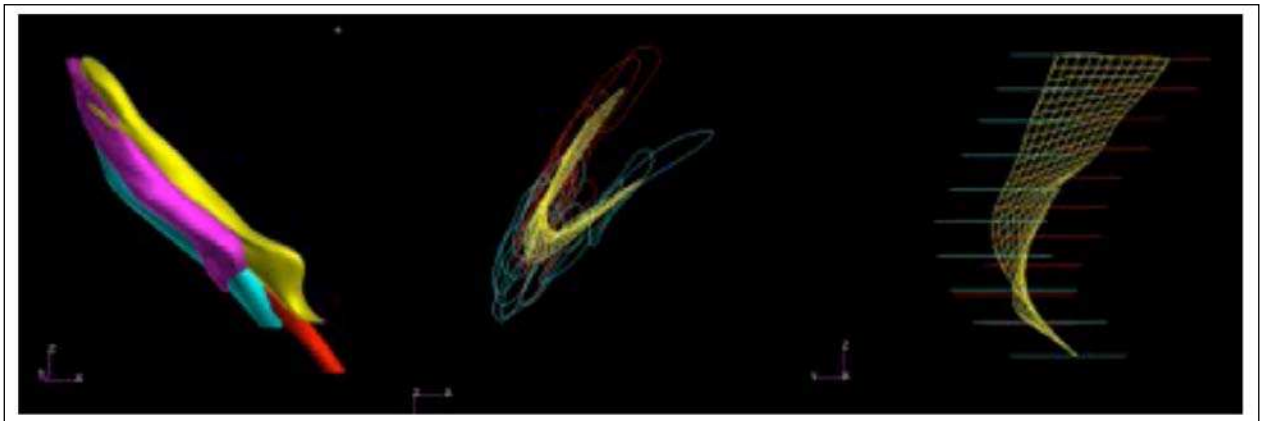
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Par **Stéphanie DAKPÉ**

*Étude biomécanique de la mimique faciale*

Thèse présentée  
pour l'obtention du grade  
de Docteur de l'UTC



Soutenue le 19 mai 2015

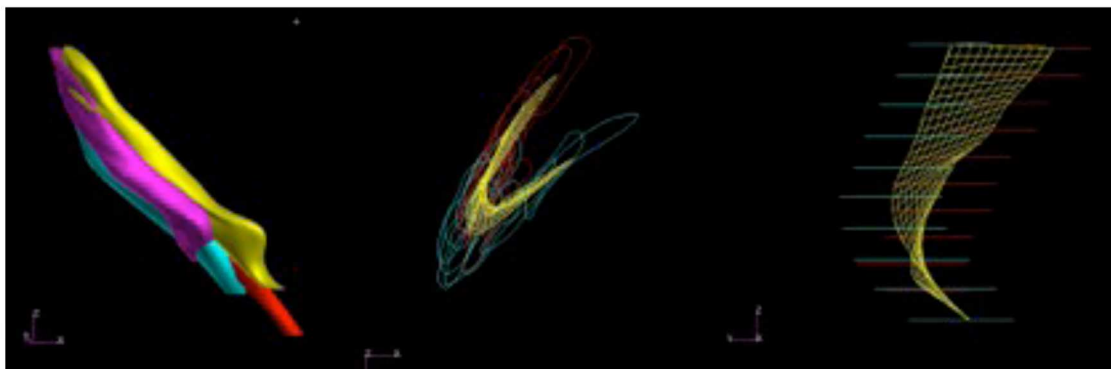
**Spécialité** : Bio-ingénierie, Biomécanique, Biomatériaux

D2203

---

## ETUDE BIOMECHANIQUE DE LA MIMIQUE FACIALE

---



THESE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR DE  
L'UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE

SPECIALITE BIO-INGENIERIE, BIOMECHANIQUE, BIOMATERIAUX

Présentée par Stéphanie Dakpé

SOUTENUE LE : 19 MAI 2015

DIRECTEURS DE THESE

Madame le Professeur Marie Christine HO BA THO  
Monsieur le Professeur Bernard DEVAUCHELLE

MEMBRES DU JURY

Monsieur le Professeur Jean Marc CONSTANS  
Monsieur le Professeur Benoît LENGELE  
Monsieur le Professeur Frédéric MARIN  
Monsieur le Professeur Philippe MERLOZ (Rapporteur)  
Monsieur Mohamed RACHIK, Maître de Conférence  
Monsieur le Professeur Jos VANDER SLOTEN (Rapporteur)

*Nous exprimons nos remerciements à nos rapporteurs : Messieurs les Professeurs et P.Merloz et J.Vander Sloten pour avoir accepté de juger et d'expertiser ce travail.*

*Nous remercions également Monsieur le Professeur Jean-Marc Constans, Monsieur le Professeur Benoît Lengelé, Monsieur le Professeur Frédéric Marin, et Monsieur Mohamed Rachik pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail en nous faisant l'honneur de participer à notre jury.*

*Nous exprimons toute notre reconnaissance à nos directeurs de thèse : Madame le Professeur Marie-christine Ho Ba Tho et Monsieur le Professeur Bernard Devauchelle, pour nous avoir guidée, conseillée, et soutenue tout au long de ce travail.*

*Nous adressons nos plus chaleureux remerciements à l'ensemble de l'équipe du laboratoire de Biomécanique et de Bio-ingénierie de l'Université de Compiègne, pour son accueil et ses encouragements.*

*Nous continuons à exprimer notre reconnaissance par ces quelques phrases, même si cela sonne comme un « bis », preuve que le temps n'a pas fait vieillir ces mots :*

*Garder l'esprit et les yeux grands ouverts, et ne jamais oublier que rien ne vaut ta présence.  
Merci pour ton aide, ton soutien, ta patience ...  
A Guillaume,*

*Au Cercle familial, point d'ancrage et port d'attache de chaque tempête...  
A mes parents, à Jean-Sébastien, à Rébecca, à Margaret, à Michel, à Florent, à Julien, à Morgane, à Caspar, à Olivier, à Nina.*

*A Valérie, à Claire, à Cyrille  
Aux amis, complices de chaque instant,  
A S., l'écriture de cette page nous replonge quelques années en arrière, cette fois-ci tu es absente....*

*A toutes les équipes chirurgicales qui nous ont accueillie, et en particulier à l'équipe et à mes confrères du service de Chirurgie Maxillo-faciale, à Sylvie, à Audrey, à Sébastien, à Cécilia.*

*Leçons de vie,  
A mes patients, à Mme C, Mr B, Mr D....*

*Et enfin, nous terminons ou commençons sur cette impression d'avoir donné beaucoup pour obtenir bien peu de savoir... Peut-être est-ce cela la connaissance, accepter qu'il y ait derrière chaque porte ouverte, une autre à ouvrir... Cruelles révélations, résignations : une vie ne me suffira pas pour obtenir toutes les clés. Nous la transmettons donc, seule illusion d'une éternité....  
A toi qui va naître...*



« Peut-on saisir un visage ? sans doute, quoique peut-être jamais totalement, et jamais d'une façon qui ne porte la marque du point de vue d'où on l'envisage. Car si les moyens d'appréhender le visage ne manquent pas, chacun semble le recréer sans jamais l'épuiser. Ouvert par essence à des regards divers, mais rebelle à toute tentative de le saisir intégralement, le visage apparaît dans le désir qu'il provoque en même temps que dans le mystère dont il se couvre »

Emmanuel Fournier, François Delaporte

(Delaporte *et al.*, 2010)

## RESUME

Ce travail de thèse, inclus dans un projet structurant plus vaste, projet SIMOVI (**S**imulation des **M**ouvements du **V**isage), s'attache à étudier spécifiquement la mimique faciale en corrélant les déplacements visibles du revêtement cutané et les mouvements musculaires internes à travers le développement de plusieurs méthodologies.

L'ensemble de la mimique faciale ne pouvant être étudié, étant donné la multitude d'expressions, les mouvements pertinents à étudier dans nos travaux ont été identifiés.

Ces mouvements ont été caractérisés chez 23 sujets jeunes dans une analyse descriptive qualitative et clinique, basée sur une méthodologie s'appuyant sur l'analyse d'enregistrements vidéoscopiques, et le développement d'un codage issu du FACS (Facial Action Coding System). Une cohorte de référence a ainsi été constituée.

Après avoir validé notre méthodologie pour la caractérisation externe de la mimique, l'analyse des muscles peauciers par l'IRM a été réalisée sur 10 hémifaces parmi les sujets sains issus de la cohorte. Cette caractérisation a fait appel, à partir d'une *anatomie in vivo*, à une modélisation de certains muscles peauciers (*zygomaticus major* en particulier) afin d'extraire des paramètres morphologiques, de réaliser une analyse plus fine de la morphologie musculaire en 3 dimensions, et d'apporter une meilleure compréhension du comportement cinématique du muscle dans différentes positions.

Par son intégration dans un questionnaire plus vaste :

- *comment caractériser objectivement la mimique faciale ?*
- *quels sont les indicateurs qualitatifs et quantitatifs de la mimique que nous pouvons recueillir, et comment réaliser ce recueil ?*
- *comment utiliser les développements technologiques dans les applications cliniques ?*

ce travail constitue une étape préliminaire à d'autres travaux. Il pourra fournir des données de référence à des fins de modélisation, de simulation de la mimique faciale, ou de développements d'outil de mesures pour le suivi et l'évaluation des déficits de la mimique faciale.

MOTS CLES : Mimique Faciale, Muscles Peauciers, Segmentation, Reconstruction Tridimensionnelle, Morphométrie, FACS, IRM



# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE I : ETAT DE L'ART</b>	4
<b>I.1. ANATOMIE DES MUSCLES PEAUCIERS</b>	5
I.1.1. Rappel embryologique. Myogénèse faciale	5
I.1.2. Anatomie descriptive des muscles d'intérêt	7
I.1.2.A. Muscle Frontal (Frontalis)	7
I.1.2.B. Muscles palpébraux	8
I.1.2.B.a. Muscle orbiculaire palpébral (orbicularis oculi)	8
I.1.2.B.b. Muscle corrugateur du sourcil ou sourcilier (muscle corrugator supercilii)	9
I.1.2.B.c. Muscle abaisseur du sourcil (muscle depressor supercilii)	9
I.1.2.C. Muscle pyramidal (procerus)	10
I.1.2.D. Muscles de la pyramide nasale	10
I.1.2.D.a. Muscle nasal	10
I.1.2.D.b. Muscle myrtiliforme ou abaisseur du septum nasal (muscle depressor septi)	11
I.1.2.E. Muscles de la lèvre	12
I.1.2.E.a. Muscles constricteurs de la lèvre	12
I.1.2.E.b. Muscles dilateurs	12
I.1.2.F. Muscle buccinateur	17
I.1.2.G. Tableau de synthèse et représentation schématique	18
I.1.3. Variations et Particularités anatomiques	21
I.1.3.A. Variations anatomiques	21
I.1.3.A.a. Description de "Modèles" de musculature	21
I.1.3.A.b. Variations constatées dans les descriptions anatomiques	22
I.1.3.B. Fossette jugale	23
I.1.3.C. Sillon nasogénien	23
I.1.3.D. Classification de sourire	24
I.1.3.D.a. Classification de Rubin (Rubin, 1974)	24
I.1.3.D.b. Classification de Tjan (Tjan et al. 1984)	26
I.1.3.E. Notion de points fixes ostéocutanés	26
I.1.4. Anatomie Fonctionnelle et Schématisation des Actions des muscles peauciers	27
I.1.4.A. Notion d'actions directes et indirectes sur le sillon nasogénien	27
I.1.4.B. Exemple de Schématisation des actions musculaires	28



I.1.4.B.a. Schématisation des actions musculaires d'après Kamina.....	28
I.1.4.B.b. Schématisation des actions musculaires d'après Fabre .....	28
I.1.5. Muscles peauciers et émotions. ....	29
I.1.6. Morphométrie des muscles peauciers. ....	31
I.1.6.A. Résultats des travaux de dissection de Fabre.....	31
I.1.6.B. Travaux de dissection de muscles élévateurs de la lèvre.....	33
I.1.6.B.a. Matériel et méthode.....	33
I.1.6.B.b. Résultats .....	33
I.1.6.B.c. Limites .....	36
I.1.7. Conclusion.....	36
<b>I.2. ETAT DE L'ART: CARACTERISATION EXTERNE DE LA MIMIQUE FACIALE.....</b>	<b>37</b>
I.2.1. Analyse externe et Clinique.....	37
I.2.1.A. Multiplicité des expressions faciales .....	37
I.2.1.B. FACS (Facial action coding system) .....	37
I.2.1.C. Echelles de Cotation et testings musculaires.....	40
I.2.1.C.a. Echelles de cotation.....	40
I.2.1.C.b. Testings musculaires.....	43
I.2.2. Analyse externe de la mimique et mesures cliniques quantitatives.....	45
I.2.3. Analyse de la mimique et Electromyographie (EMG).....	46
I.2.4. Etude de la mimique et technique d'acquisition 2D ou 3D.....	47
I.2.4.A. Technique 2D.....	47
I.2.4.B. Technique 3D.....	49
I.2.5 Synthèse .....	54
<b>I.3 ETAT DE L'ART : CARACTERISATION INTERNE DE LA MIMIQUE FACIALE.....</b>	<b>55</b>
I.3.1 Travaux menés avec l'échographie .....	55
I.3.2. Travaux menés avec le Scanner.....	56
I.3.3. Travaux menés avec l'IRM .....	57
I.3.3.A Généralités.....	57
I.3.3.B. Identification des muscles peauciers en IRM et mesures morphométriques.....	58
I.3.4. Synthèse .....	62
 <b>CHAPITRE II : IDENTIFICATION DES MOUVEMENTS PERTINENTS DE LA MIMIQUE FACIALE.....</b>	 <b>63</b>
<b>II.1 MOUVEMENTS CHOISIS.....</b>	<b>64</b>
<b>II.2 JUSTIFICATION.....</b>	<b>64</b>
II.2.1. Protection du globe oculaire.....	65

II.2.2. Compétence labiale.....	65
II.2.3. Elocution et articulation des sons .....	65
II.2.4. Mouvements ayant un rôle dans l'expressivité de la face.....	67
<b>II.3 CORRELATION ANATOMOCLINIQUE.....</b>	<b>67</b>
<b>II.4. CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>

## **CHAPITRE III : CARACTERISATION EXTERNE DES MOUVEMENTS SELECTIONNES DE LA MIMIQUE FACIALE.....**

69

<b>III.1 MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>70</b>
III.1.1. Population étudiée .....	70
III.1.2. Matériel.....	72
III.1.2.A. Matériel d'Enregistrement Vidéoscopique.....	72
III.1.2.B. Logiciel de traitement des enregistrements vidéoscopiques .....	72
III.1.3 Méthode.....	73
III.1.3. A. Description du protocole.....	73
III.1.3.A.a. Installation du sujet et Recueil de données d'examen clinique de la face au repos.....	73
III.1.3.A.b. Description des consignes orales .....	73
III.1.3.A.c. Recueil des données vidéoscopiques et méthode de traitement des images.....	74
III.1.3.A.d. Codage FACS.....	76
III.1.3.B. Méthodologie.....	77
III.1.3.B.a. Etude de la validité des consignes orales .....	77
III.1.3.B.b. Etude de la reproductibilité d'un examinateur utilisant le protocole.....	77
III.1.3.B.c. Etude de reproductibilité du protocole de réalisation du mouvement avec les consignes .....	78
III.1.3.B.d Méthode d'analyse de données recueillies sur une cohorte de 21 sujets.....	78
<b>III.2. RESULTATS 80</b>	
III.2.1. Validité des consignes orales.....	80
III.2.2. Reproductibilité d'un examinateur utilisant les consignes orales.....	81
III.2.3. Reproductibilité d'un sujet réalisant le protocole de mouvements.....	82
III.2.4 Résultats de l'analyse des données recueillies sur une cohorte.....	82
III.2.4.A. Durée moyenne des séquences vidéographiques analysées.....	83
III.2.4.B. Durée moyenne de réalisation de chacun des mouvements.....	83
III.2.4.C. Nombre et Moyenne des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte....	84
III.2.4.D. Fréquence des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte .....	86
III.2.4.D.a Mouvement 1.....	86
III.2.4.D.b.Mouvement 2 .....	86

III.2.4.D.c. Mouvement 3 .....	87
III.2.4.D.d. Mouvement 4.....	87
III.2.4.D.e .Mouvement 5.....	88
III.2.4.D.f. Mouvement 6.....	89
III.2.4.E. Répartition chronologique des AU en fonction du mouvement .....	89
III.2.4.E.a Mouvement 1.....	90
III.2.4.E.b Mouvement 2.....	91
III.2.4.E.c. Mouvement 3 .....	93
III.2.4.E.d. Mouvement 4 .....	96
III.2.4.E.e. Mouvement 5 .....	99
III.2.4.E.f. Mouvement 6.....	102
III.2.4.F. Combinaison chronologique d'AU la plus fréquente.....	102
III.2.4.F.a Mouvement 1 .....	103
III.2.4.F.b Mouvement 2.....	103
III.2.4.F.c Mouvement 3 .....	103
III.2.4.F.d Mouvement 4 .....	103
III.2.4.F.e Mouvement 5 .....	104
III.2.4.F.f Mouvement 6 .....	104
III.2.4.G. Fréquence de l'AU 45 en fonction des mouvements .....	104
III.2.4.H. Fréquence de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 & 6) et de l'AU 25 dans le mouvement 6. ....	105
III.2.4.I. Corrélation entre analyse morphologique (type d'orbite) et présence fréquente de l'AU 45.....	106
<b>III.3. DISCUSSION</b> .....	106
III.3.1. Méthodologie .....	106
III.3.2. Reproductibilité.....	107
III.3.3. Consignes orales.....	108
III.3.4. Codage sur la cohorte .....	109
<b>III.4. CONCLUSION et PERPECTIVES</b> .....	112

## **CHAPITRE IV CARACTERISATION INTERNE DES MOUVEMENTS CHOISIS DE LA MIMIQUE FACIALE PAR L'IRM** .....

<b>IV.1. MATERIEL ET METHODES</b> .....	115
IV.1.1. Matériel .....	115
IV.1.1.A IRM .....	115
IV.1.2.B Logiciel de traitement des données .....	115

IV.1.2. Population (muscles peauciers) étudiée.....	116
IV.1.3. Développement Méthodologique.....	118
IV.1.3.A. Séquence testée et choix de la séquence .....	118
IV.1.3.B. Description du protocole .....	119
IV.1.3.B.a Protocole d'Acquisition IRM .....	119
IV.1.3.B.b Segmentation 3D et reconstruction géométrique .....	119
IV.1.3.B.c Méthodes d'obtention des propriétés morphométriques des muscles segmentés ....	121
IV.1.4. Analyse de précision et reproductibilité de la segmentation .....	124
IV.1.4.A. Analyse de précision .....	124
IV.1.4.B. Obtention des mesures et comparaison aux données du fantôme .....	125
IV.1.4.C. Reproductibilité de la segmentation .....	126
<b>IV.2. RESULTATS</b> .....	127
IV.2.1. Morphométrie de 13 muscles peauciers (N=13) chez 1 sujet en position neutre et en position O. ....	127
IV.2.2. Paramétrisation morphologique du muscle zygomaticus major en position neutre .....	129
IV.2.2. A. Résultats obtenus par la méthode automatique .....	129
IV.2.2.B. Résultats obtenus par la méthode Patran .....	130
IV.2.2.B.a. Similitude des variations de moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur..	131
IV.2.2.B.b Courbe des moments d'inertie I1 des muscles zygomatiques en fonction du % de longueur .....	131
IV.2.2.B.c. Tendances des profils de courbe .....	133
IV.2.3 Déplacements et Déformations des muscles peauciers dans différentes positions .....	134
IV.2.3.A. Zygomaticus major dans les positions [o], [pμ] et sourire .....	135
IV.2.3.A.a. Modélisation et courbe de profil de moment d'inertie (Pattern) pour le Zygomaticus major. ....	135
IV.2.3.A.b. Modification de longueur de la ligne d'action du muscle, « Pattern », Amplitudes de déplacements entre les lignes d'action .....	136
IV.2.3.B. Levator labii superioris (releveur de la lèvre supérieur) dans la position [o] .....	142
IV.2.3.C. Levator anguli oris (Canin) dans la position [o]. ....	144
IV.2.3.D. Depressor anguli oris (Triangulaire) dans la position [o] .....	146
<b>IV.3.DISCUSION</b> .....	148
IV.3. Méthodologie .....	148
IV.3.2. Morphométrie de 13 muscles peauciers (N=13) chez 1 sujet en position neutre et en position [o] .....	149
IV.3.3. Paramétrisation morphologique du muscle zygomaticus major en position neutre .....	150
IV.3.4 Déplacements et Déformations des muscles peauciers dans différentes positions .....	152
IV.3.4.A. Zygomaticus major dans les positions [o], [pμ], et sourire .....	152
IV. 3.4.B. Autres muscles .....	152

<b>CONCLUSION.....</b>	<b>154</b>
<b>NOTE.....</b>	<b>157</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>159</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>223</b>
<b>COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES en rapport avec la Thèse.....</b>	<b>231</b>

# Table des Figures

Figure I.1. : Appareil branchial .....	5
Figure I.2 : Masses pré-musculaires Embryon de 14 mm .....	6
Figure I.3 : Différenciation des muscles du plan superficiel. Embryon 37 mm .....	6
Figure I.4. : Plan superficiel et profond des muscles peauciers . Embryon 80 mm .....	7
Figure I.5. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle frontal en bleu .....	5
Figure I.6. : Situation anatomique et représentation schématique muscle orbiculaire des paupières en vert .....	8
Figure I.7. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle corrugateur en bleu.....	9
Figure I.8.: Situation anatomique et représentation schématique du muscle abaisseur du sourcil en orange .....	9
Figure I.8.bis : Situation anatomique et représentation schématique du muscle pyramidal en bleu .....	10
Figure I.9. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle transverse en vert.....	10
Figure I.10. : Situation anatomique et représentation schématique de la partie alaire du muscle nasal en bleu .....	11
Figure I.11. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle myrtiliforme en jaune.....	11
Figure I.12. : Situation anatomique et représentation schématique de l'orbiculaire des lèvres, surligné en bleu ..	12
Figure I.13. : Situation anatomique et représentation schématique du canin droit et gauche, surligné en jaune ..	13
Figure I.14. : Situation anatomique et représentation schématique du carré du menton, surligné en orange .....	13
Figure I.15. : Situation anatomique et représentation schématique de la houppe ( à droite) , surligné en blanc ...	14
Figure I.16. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle grand zygomatique ( à droite), surligné en rouge .....	14
Figure I.17. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle petit zygomatique ( à droite) , surligné en vert.....	15
Figure I.18. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez ( à droite) , surligné en violet .....	15
Figure I.19. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle releveur de la lèvre supérieure ( à droite) , surligné en vert .....	16
Figure I.20. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle triangulaire ( à droite) , surligné en rose .....	16
Figure I.21. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle risorius ( à gauche) , surligné en jaune .....	17
Figure I.22. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle buccinateur ( à droite) , surligné en vert .....	17
Figure I.23. : Représentation schématique des muscles selon Sobotta .....	20
Figure I.24. : Classification de la répartition des muscles peauciers de la sangle des élévateurs selon Pessa ...	21
Figure I.25. : Différentes formes de sillon nasogénien .....	23

Figure I.26. : Analyse du sillon nasogénien .....	24
Figure I.27. : Classification des sourires selon RUBIN. ....	25
Figure I.28. : Points fixes de la face d'après Delmar.....	26
Figure I.29. : Points fixes de la joue d'après Furnas.....	27
Figure I.30. : Schématisation des actions musculaires d'après Kamina .....	28
Figure I.31. : Schématisation des muscles peauciers selon Fabre .....	29
Figure I.32. : Schématisation des actions des muscles peauciers et émotions d'après Rouvière.....	30
Figure I.33. : Levée du tissu cutané lors de la dissection .....	33
Figure I.34. : Photographies du rapport entre les vaisseaux faciaux et le muscle zygomaticus major.....	34
Figure I.35. : Photographie du muscle levator labii superioris alaeque nasi gauche .....	35
Figure I.36. : Photographies muscle levator anguli oris gauche.....	35
Figure I.37. : Photographie du muscle risorius gauche, terminaison du muscle présenté dans la pince inférieure .....	35
Figure I.38. :Schéma d'étude anatomique d'Ermiane .....	37
Figure I.39. : Exemple d'Action Unit codé dans le FACS .....	38
Figure I.40. : Région d'intérêt pour extraire les caractéristiques du visage (à gauche) exemple de tracking de points repères de la face.....	39
Figure I.41. : Profil d'AU chez un patient angoissé. Apparition AU 6 et AU 7 innapropriée.....	40
Figure I.42. : Exemple de patient atteint de paralysie faciale .....	41
Figure I.43. : Echelle de Sunnybrook .....	43
Figure I.44. : Exemple de mouvement demandé au patient : étirement des commissures vers le bas .....	44
Figure I.45. : Exemple de mouvement demandé au patient : mouvement du baiser.....	44
Figure I.46. : Facial nerve function index.....	45
Figure I.47. : Correspondance entre le score de House et Brackman et les valeurs dynamométriques .....	45
Figure I.48. : Faciomètre .....	46
Figure I.49. : Points repères étudiés par Johnston .....	48
Figure I.50. : Système de miroir selon Frey pour obtenir une image tridimensionnelle .....	49
Figure I.51 : Exemple de l'étude du mouvement des lèvres selon Mishima avec un système d'acquisition 3D chez un volontaire sain à gauche et chez un patient à droite .....	49
Figure I.52 : Illustration du mouvement d'étirement des commissures chez un sujet normal utilisant le principe de stéréophotogrammétrie .....	50
Figure I.53: Système de capture 3DMD, Motif infrarouge.....	50
Figure I.54 : Images en 3D .....	51
Figure I.55.: Visualisation quantitative des modifications des tissus mous de la joue entre la position debout et couchée chez le sujet jeune et âgé.....	52
Figure I.56.: Positionnement des points Hontanilla .....	53

Figure I. 57: Prototype d'échographie sans contact utilisé par Deng <i>et al.</i> (à gauche), comparaison entre l'imagerie échographique avec contact de la sonde d'échographie (A) et sans contact (B) ( au centre), aspect 3D du mouvement de la moue (à droite) .....	56
Figure I.58. :Modélisation d'une face d'un volontaire à partir de son scanner.....	56
Figure I.59. :Simulation d'une avancée mandibulaire .....	56
Figure I.60 : Mesure de l'épaisseur du muscle orbicularis oris selon Farrugia .....	59
Figure I.61. : Etude de la différence d'aspect entre le coté sain (A) et le coté paralysé (B) sur une coupe sagittale pour l'orbiculaire des paupières et pour le levator labii superioris (releveur) sur une coupe frontale .....	59
Figure I.62. : Coupe coronale groupe de muscle paranasal a : coté sain, et b : coté fendu, chez un patient atteint d'une fente labio alvéolopalatine avant opération (à gauche), après l'intervention (à droite) (Kleinheinz <i>et al.</i> , 2001).....	60
Figure I.63.: Segmentation des muscles peauciers .....	60
Figure I.64. : Segmentation des muscles peauciers et masticateurs semi automatique avec le logiciel AVIZO et exemple de segmentation chez le sujet pathologique .....	61
Figure II.1 :Comparaison des 2 positions maximales du mouvement sur le son [o] (gauche) et sur le son [pμ]..	66
Figure II.2 :Description des mouvements de structures anatomiques de la cavité buccale sur le son [o].....	67
Figure III.1 :Photographie illustrant les mouvement en cours de réalisation n°0,1,2,3,4,5 chez le sujet SIMOVI CN .....	74
Figure III.2 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Sélection des plans par mouvement et isolement des répétitions.....	75
Figure III.3 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Modification de la vitesse.....	75
Figure III.4 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Resynchronisation avec modification de la vitesse de lecture à 20%.....	76
Figure III.6: Reproductibilité intra-observateur en fonction du mouvement. ....	81
Figure III.7 : Reproductibilité du mouvement par le sujet .....	82
Figure III.8 : Durée moyenne de la séquence analysée en fonction du mouvement .....	83
Figure III.9 : Durée moyenne en secondes de l'exécution des mouvements .....	84
Figure III.10 : Répartition des sujets de la cohorte en fonction du nombre d'AU par mouvement.....	85
Figure III.11 : Nombre moyen d'AU par mouvement. ....	85
Figure III.12: Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	86
Figure III.13 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	87
Figure III.14 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte (n=20) .....	87
Figure III.15 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	88



Figure III.16 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	88
Figure III.17 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 6 sur l'ensemble de la cohorte (n=15).....	89
Figure III.18 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 1 en fonction du temps.....	90
Figure III.19 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte.	90
Figure III.20 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte..	91
Figure III.21 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 2 en fonction du temps.....	91
Figure III.22 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	92
Figure III.23 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	92
Figure III.24 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	92
Figure III.25 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	93
Figure III.26 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	93
Figure III.27 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 3 en fonction du temps.....	94
Figure III.28 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	94
Figure III.29 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	94
Figure III.30 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	95
Figure III.31 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	95
Figure III.32 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	95
Figure III.33 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	96
Figure III.34 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 4 en fonction du temps.....	96
Figure III.35 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	97
Figure III.36 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	97
Figure III.37 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	98
Figure III.38 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	98
Figure III.39 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	98
Figure III.40 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	99
Figure III.41 : Répartition en % des AU observées à l'instant T7 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	99
Figure III.42 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 5 en fonction du temps.....	100
Figure III.43 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.....	100
Figure III.44 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	100
Figure III.45 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	101
Figure III.46 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	101

Figure III.47 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.....	101
Figure III.48 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	102
Figure III.49 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 6 en fonction du temps.....	102
Figure III.50 : Répartition en % de l'AU 45 dans chacun des mouvements.....	104
Figure III.51 : Répartition en % de l'AU 45 dans les différents mouvements palpébraux (1et2) ; de mouvements de protrusion labiale (3 et 4) et de mouvement d'étirement des commissures (5 et 6).....	105
Figure III.52: Répartition en % de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 et 6) sourire volontaire et sourire spontané.....	105
Figure III.53 :Développements réalisés dans le projet SIMOVI, à gauche mesures avec un scanner de surface, sur la plateforme du mouvement, à droite en stéréocorrélation .....	112
Figure III.54 : Perspectives .....	113
Figure IV.1 : Antenne tête et cou résolution 3T HD 8 canaux pour le système d'IRM GE Hdx .....	115
Figure IV.2. Masque.....	120
Figure IV.3. : Segmentation des muscles peauciers .....	120
Figure IV.4 : Exemple de fichiers STL des différents muscles reconstruits et segmentés chez le sujet SIMOVI LD .....	121
Figure IV.5. : Normale à la longueur du muscle en vert (exemple du muscle abaisseur de l'angle de la bouche), direction ayant permis le calcul de l'épaisseur moyenne en vert). Vue schématique.....	122
Figure IV..6 : Description de la méthode manuelle via PATRAN .....	122
Figure IV.7 : Images 2D de nuages de points 3D(a), reconstructions géométriques courbes (b) et surfaces (c) 123	
Figure IV.8 : Obtention de la longueur du muscle.....	123
Figure IV.9 : Photographie du fantôme.....	125
Figure IV.10 : Fantôme placé dans un tube à essai rempli d'eau pour le passage en IRM. Image IRM du Fantôme et Segmentation. Reconstruction tridimensionnelle et modèle géométrique Scan IP. 125	
Figure IV.11 : Segmentation du muscle zygomaticus major à partir de 2 acquisitions différentes protocole 1 et calcul du volume. ....	126
Figure IV.12. Représentation graphique des résultats de la segmentation du muscle zygomaticus major dans différentes positions et erreur relative par rapport à la moyenne des volumes calculés dans la position neutre. 127	
Figure IV.13 : Résultats graphiques de la reconstruction géométrique tridimensionnelle en position neutre sujet SIMOVI LD01.....	128
Figure IV.14. : Reconstruction géométrique tridimensionnelle en position O.....	129
Figure IV.15. : Volume du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population.....	129
Figure IV.16. : Longueur du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population.....	130
Figure IV.17 : Epaisseur du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population .....	130

Figure IV.18 : Exemple de variation des moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur pour le sujet SIMOVI DP04 .....	131
Figure IV.19 : Profil de courbe du moment d'inertie I1 en fonction du % de longueur « Pattern » des muscles zygomaticus major .....	132
Figure IV.20 : Profil de courbe en « cloche » avec augmentation de I1 dans la première moitié du muscle.....	133
Figure IV.21 : Profil de courbe 2 avec augmentation de I1 dans la deuxième moitié du muscle.....	134
Figure IV.22 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche. Modélisation du muscle zygomaticus major en position neutre à droite.....	135
Figure IV.23 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche, modélisation du muscle zygomaticus major sur la position [o] à droite.....	135
Figure IV.24 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche, modélisation du muscle zygomaticus major sur la position [pμ] à droite .....	136
Figure IV.25 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche.....	136
modélisation du muscle zygomaticus major sur la position sourire à droite.	
Figure IV.26 : Modification des lignes d'action dans les positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la position neutre, vue de face d'une modélisation du zygomaticus major droit de simovi DP01.....	137
Figure IV.27 : Modification des lignes d'action dans les positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la position neutre, vue latérale d'une modélisation du zygomaticus major droit de simovi DP01.....	137
Figure IV.28 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [pμ] par rapport à la position neutre à gauche, Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et [pμ] à droite.....	138
Figure IV.29 : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position [pμ], vue de face à gauche, latérale.....	138
Figure IV.30 : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position [pμ].....	138
Figure IV.31 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et [o] à droite.....	139
Figure IV.32 : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position [o], vue de face à gauche, latérale.....	139
Figure IV.33 : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position [o] .....	140
Figure IV.34 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position sourire par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et sourire à droite.....	140

Figure IV.35. : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position sourire, vue de face à gauche, latérale.....	141
Figure IV.36. : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position sourire .....	141
Figure IV.37. : Modélisation du muscle Levator labii en vue de face position neutre à gauche et position [o] à droite.....	142
Figure IV.38. : Modification des lignes d'action du muscle releveur droit dans les position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à gauche, vue latérale à droite).....	143
Figure IV.39 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre (à gauche). Comparaison de la modélisation du muscle Levator labii superioris dans les positions neutre et [o] (à droite).....	143
Figure IV.40. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position O (rouge) (vue de face d'un muscle releveur de la lèvre supérieure droit).....	143
Fig IV.41. : Modélisation du muscle Levator Anguli Oris (Canin) Gauche en vue latérale position neutre à gauche et position [o] à droite.....	144
Fig IV.42: Modification des lignes d'action du muscle canin gauche dans les position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à droite, vue latérale à gauche).....	145
Fig IV.43. : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle Levator Anguli Oris dans les positions neutre et [o] à droite.....	145
Fig IV.44. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position O (rouge) (vue latérale d'un muscle canin gauche) et vecteur directeur de déplacement.....	145
Fig IV.45. : Modélisation du muscle Depressor Anguli Oris (triangulaire Gauche en vue latérale position neutre à gauche et position [o] à droite).....	146
Figure IV.46. : Modification des lignes d'action du muscle triangulaire droit dans la position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à droite, vue latérale à gauche) .....	147
Figure IV.47. Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle Depressor Anguli Oris dans les positions neutre et [o] à droite .....	147
Figure IV.48. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position [o] (rouge) (vue face d'un muscle triangulaire gauche) et vecteur directeur de déplacement.....	148
Figure IV.49. : Représentation schématique de la musculature peaucière déduite de la banque de données visible human data .....	149
Figure IV.50. : Différence de méthode de calcul de longueur de muscle.....	149
Figure IV.51.: Aspect de bifidité de muscle zygomaticus major en reconstruction géométrique.....	150

# Liste des Tableaux

Tableau I.1. : Muscles peauciers d'après Sobotta (Sobotta,1994).....	19
Tableau I.2. : Comparaison chez 7 sujets entre hémiface droite et gauche selon les répartitions décrites à la figure I.24.....	22
Tableau I.3. : Muscles peauciers et leurs actions en rapport avec une émotion selon Duchenne de Boulogne....	30
Tableau I.4. : Morphométrie longueur et largeur du muscle frontal .....	31
Tableau I.5. : Morphométrie (largeur )du muscle orbiculaire palpébral .....	31
Tableau I.6. : Morphométrie longueur et largeur corrugateur .....	31
Tableau I.7. : Morphométrie longueur et largeur du muscle canin.....	31
Tableau I.8. : Morphométrie longueur et largeur du muscle carré du menton.....	32
Tableau I.9. : Morphométrie longueur et largeur du muscle de la houppe .....	32
Tableau I.10. : Morphométrie longueur et largeur du muscle grand zygomatique ...	32
Tableau I.11. : Morphométrie longueur et largeur du muscle petit zygomatique .....	32
Tableau I.12. : Morphométrie longueur et largeur du muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez	32
Tableau I.13. : Morphométrie longueur et largeur du muscle releveur de la lèvre supérieure .....	32
Tableau I.14.: Morphométrie longueur et largeur du muscle triangulaire .....	32
Tableau I.15. : Comparaison des mesures de longueur et de largeur de nos dissections et de celles de la littérature .....	35
Tableau I.16. : Score de House pour l'évaluation des paralysies faciales .....	42
Tableau I.17. : Facial Paralysis Recovery Profile d'après (Adour & Swanson, 1971) .....	42
Tableau I.18. : Cotation évaluée dans le testing des muscles peauciers (Chevalier & Lacôte,1996).....	44
Tableau I.19. : Nombre de points repères et points références utilisés selon les différents auteurs dans l'analyse de la mimique faciale .....	53
Tableau I.20. : Comparaison de l'épaisseur du muscle levator labii superioris (releveur) et du zygomaticus major (grand zygomatique).....	55
Tableau I.21 : Mesures morphométriques des orbiculaires des lèvres et des paupières (Farrugia et al.,2006)..	59
Tableau I.22. : Volume moyen de 13 muscles peauciers mesurés par Volk (Volk et al.,2014).....	61
Tableau I.23. Revue des études IRM menées sur les muscles peauciers.....	62
Tableau III.1 : Caractéristiques cliniques des sujets inclus dans la cohorte.....	71
Tableau III.2 :Tests de la consigne orale sur 10 sujets volontaires sains .....	80
Tableau III.3 : Coefficient de corrélation Kappa entre différentes observations d'un même fichier vidéoscopique par un observateur identique et interprétation pour chacun des mouvements.....	81
Tableau III.4. :Coefficient de corrélation Kappa entre plusieurs fichiers vidéos.....	82
Tableau III.5 : AU les plus fréquentes aux instants T1 et T2 du mouvement 1.....	103

Tableau III.6 : AU les plus Fréquentes aux instants T1 à T5 du mouvement 2 .....	103
Tableau III.7 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5,T6 du mouvement 3 .....	103
Tableau III.8 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5,T6, T7 du mouvement 4 .....	103
Tableau III.9 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5,T6 du mouvement 5 .....	104
Tableau III.10 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5, T6 du mouvement 6 .....	104
Tableau IV.1. Caractéristiques des volontaires sains inclus dans le protocole .....	117
Tableau IV.2. Séquences IRM testées .....	118
Tableau IV.3 : Paramètres des séquences du protocole 1 et 2 .....	119
Tableau IV. 4 : Données morphométriques du fantôme .....	125
Tableau IV.5 : Erreur relative entre les dimensions connues du fantôme et celles calculées .....	126
Tableau IV.6 : Résultats de la segmentation du muscle zygomaticus major dans différentes positions et erreur relative constatée .....	127
Tableau IV.7. Morphométrie des muscles peauciers en position neutre .....	128
Tableau IV.7bis : Valeurs moyennes des paramètres de volume, de longueur et d'épaisseur du muscle grand zygomatique obtenues dans notre population .....	130
Tableau IV.8 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action dans les différentes positions [o], [pμ] et sourire .....	137
Tableau IV.9 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'insertion et de l'extrémité de la ligne d'action dans la position [o] .....	142
Tableau IV.10 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action dans la position [o] .....	144
Tableau IV.11 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité et de la terminaison de la ligne d'action dans la position [o] ..	146

« Peut-on saisir un visage ? sans doute, quoique peut-être jamais totalement, et jamais d'une façon qui ne porte la marque du point de vue d'où on l'envisage. Car si les moyens d'appréhender le visage ne manquent pas, chacun semble le recréer sans jamais l'épuiser. Ouvert par essence à des regards divers, mais rebelle à toute tentative de le saisir intégralement, le visage apparaît dans le désir qu'il provoque en même temps que dans le mystère dont il se couvre »

Emmanuel Fournier, François Delaporte

(Delaporte *et al.*, 2010)





## RESUME

Ce travail de thèse, inclus dans un projet structurant plus vaste, projet SIMOVI (**S**imulation des **M**ouvements du **V**isage), s'attache à étudier spécifiquement la mimique faciale en corrélant les déplacements visibles du revêtement cutané et les mouvements musculaires internes à travers le développement de plusieurs méthodologies.

L'ensemble de la mimique faciale ne pouvant être étudié, étant donné la multitude d'expressions, les mouvements pertinents à étudier dans nos travaux ont été identifiés.

Ces mouvements ont été caractérisés chez 23 sujets jeunes dans une analyse descriptive qualitative et clinique, basée sur une méthodologie s'appuyant sur l'analyse d'enregistrements vidéoscopiques, et le développement d'un codage issu du FACS (Facial Action Coding System). Une cohorte de référence a ainsi été constituée.

Après avoir validé notre méthodologie pour la caractérisation externe de la mimique, l'analyse des muscles peauciers par l'IRM a été réalisée sur 10 hémifaces parmi les sujets sains issus de la cohorte. Cette caractérisation a fait appel, à partir d'une *anatomie in vivo*, à une modélisation de certains muscles peauciers (*zygomaticus major* en particulier) afin d'extraire des paramètres morphologiques, de réaliser une analyse plus fine de la morphologie musculaire en 3 dimensions, et d'apporter une meilleure compréhension du comportement cinématique du muscle dans différentes positions.

Par son intégration dans un questionnaire plus vaste :

- *comment caractériser objectivement la mimique faciale ?*
- *quels sont les indicateurs qualitatifs et quantitatifs de la mimique que nous pouvons recueillir, et comment réaliser ce recueil ?*
- *comment utiliser les développements technologiques dans les applications cliniques ?*

ce travail constitue une étape préliminaire à d'autres travaux. Il pourra fournir des données de référence à des fins de modélisation, de simulation de la mimique faciale, ou de développements d'outil de mesures pour le suivi et l'évaluation des déficits de la mimique faciale.

MOTS CLES : Mimique Faciale, Muscles Peauciers, Segmentation, Reconstruction Tridimensionnelle, Morphométrie, FACS, IRM



# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE I : ETAT DE L'ART</b>	4
<b>I.1. ANATOMIE DES MUSCLES PEAUCIERS</b>	5
I.1.1. Rappel embryologique. Myogénèse faciale	5
I.1.2. Anatomie descriptive des muscles d'intérêt	7
I.1.2.A. Muscle Frontal (Frontalis)	7
I.1.2.B. Muscles palpébraux	8
I.1.2.B.a. Muscle orbiculaire palpébral (orbicularis oculi)	8
I.1.2.B.b. Muscle corrugateur du sourcil ou sourcilier (muscle corrugator supercilii)	9
I.1.2.B.c. Muscle abaisseur du sourcil (muscle depressor supercilii)	9
I.1.2.C. Muscle pyramidal (procerus)	10
I.1.2.D. Muscles de la pyramide nasale	10
I.1.2.D.a. Muscle nasal	10
I.1.2.D.b. Muscle myrtiliforme ou abaisseur du septum nasal (muscle depressor septi)	11
I.1.2.E. Muscles de la lèvre	12
I.1.2.E.a. Muscles constricteurs de la lèvre	12
I.1.2.E.b. Muscles dilateurs	12
I.1.2.F. Muscle buccinateur	17
I.1.2.G. Tableau de synthèse et représentation schématique	18
I.1.3. Variations et Particularités anatomiques	21
I.1.3.A. Variations anatomiques	21
I.1.3.A.a. Description de "Modèles" de musculature	21
I.1.3.A.b. Variations constatées dans les descriptions anatomiques	22
I.1.3.B. Fossette jugale	23
I.1.3.C. Sillon nasogénien	23
I.1.3.D. Classification de sourire	24
I.1.3.D.a. Classification de Rubin (Rubin, 1974)	24
I.1.3.D.b. Classification de Tjan (Tjan et al. 1984)	26
I.1.3.E. Notion de points fixes ostéocutanés	26
I.1.4. Anatomie Fonctionnelle et Schématisation des Actions des muscles peauciers	27
I.1.4.A. Notion d'actions directes et indirectes sur le sillon nasogénien	27
I.1.4.B. Exemple de Schématisation des actions musculaires	28

I.1.4.B.a. Schématisation des actions musculaires d'après Kamina.....	28
I.1.4.B.b. Schématisation des actions musculaires d'après Fabre .....	28
I.1.5. Muscles peauciers et émotions. ....	29
I.1.6. Morphométrie des muscles peauciers. ....	31
I.1.6.A. Résultats des travaux de dissection de Fabre.....	31
I.1.6.B. Travaux de dissection de muscles élévateurs de la lèvre.....	33
I.1.6.B.a. Matériel et méthode.....	33
I.1.6.B.b. Résultats .....	33
I.1.6.B.c. Limites .....	36
I.1.7. Conclusion.....	36
<b>I.2. ETAT DE L'ART: CARACTERISATION EXTERNE DE LA MIMIQUE FACIALE.....</b>	<b>37</b>
I.2.1. Analyse externe et Clinique.....	37
I.2.1.A. Multiplicité des expressions faciales .....	37
I.2.1.B. FACS (Facial action coding system) .....	37
I.2.1.C. Echelles de Cotation et testings musculaires.....	40
I.2.1.C.a. Echelles de cotation.....	40
I.2.1.C.b. Testings musculaires.....	43
I.2.2. Analyse externe de la mimique et mesures cliniques quantitatives.....	45
I.2.3. Analyse de la mimique et Electromyographie (EMG).....	46
I.2.4. Etude de la mimique et technique d'acquisition 2D ou 3D.....	47
I.2.4.A. Technique 2D.....	47
I.2.4.B. Technique 3D.....	49
I.2.5 Synthèse .....	54
<b>I.3 ETAT DE L'ART : CARACTERISATION INTERNE DE LA MIMIQUE FACIALE.....</b>	<b>55</b>
I.3.1 Travaux menés avec l'échographie .....	55
I.3.2. Travaux menés avec le Scanner.....	56
I.3.3. Travaux menés avec l'IRM .....	57
I.3.3.A Généralités.....	57
I.3.3.B. Identification des muscles peauciers en IRM et mesures morphométriques.....	58
I.3.4. Synthèse .....	62
 <b>CHAPITRE II : IDENTIFICATION DES MOUVEMENTS PERTINENTS DE LA MIMIQUE FACIALE.....</b>	 <b>63</b>
<b>II.1 MOUVEMENTS CHOISIS.....</b>	<b>64</b>
<b>II.2 JUSTIFICATION.....</b>	<b>64</b>
II.2.1. Protection du globe oculaire.....	65

II.2.2. Compétence labiale.....	65
II.2.3. Elocution et articulation des sons .....	65
II.2.4. Mouvements ayant un rôle dans l'expressivité de la face.....	67
<b>II.3 CORRELATION ANATOMOCLINIQUE.....</b>	<b>67</b>
<b>II.4. CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>

## **CHAPITRE III : CARACTERISATION EXTERNE DES MOUVEMENTS SELECTIONNES DE LA MIMIQUE FACIALE.....**

69

<b>III.1 MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>70</b>
III.1.1. Population étudiée .....	70
III.1.2. Matériel.....	72
III.1.2.A. Matériel d'Enregistrement Vidéoscopique.....	72
III.1.2.B. Logiciel de traitement des enregistrements vidéoscopiques .....	72
III.1.3 Méthode.....	73
III.1.3. A. Description du protocole.....	73
III.1.3.A.a. Installation du sujet et Recueil de données d'examen clinique de la face au repos.....	73
III.1.3.A.b. Description des consignes orales .....	73
III.1.3.A.c. Recueil des données vidéoscopiques et méthode de traitement des images.....	74
III.1.3.A.d. Codage FACS.....	76
III.1.3.B. Méthodologie.....	77
III.1.3.B.a. Etude de la validité des consignes orales .....	77
III.1.3.B.b. Etude de la reproductibilité d'un examinateur utilisant le protocole.....	77
III.1.3.B.c. Etude de reproductibilité du protocole de réalisation du mouvement avec les consignes .....	78
III.1.3.B.d Méthode d'analyse de données recueillies sur une cohorte de 21 sujets.....	78
<b>III.2. RESULTATS 80</b>	
III.2.1. Validité des consignes orales.....	80
III.2.2. Reproductibilité d'un examinateur utilisant les consignes orales.....	81
III.2.3. Reproductibilité d'un sujet réalisant le protocole de mouvements.....	82
III.2.4 Résultats de l'analyse des données recueillies sur une cohorte.....	82
III.2.4.A. Durée moyenne des séquences vidéographiques analysées.....	83
III.2.4.B. Durée moyenne de réalisation de chacun des mouvements.....	83
III.2.4.C. Nombre et Moyenne des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte....	84
III.2.4.D. Fréquence des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte .....	86
III.2.4.D.a Mouvement 1.....	86
III.2.4.D.b.Mouvement 2 .....	86

III.2.4.D.c. Mouvement 3 .....	87
III.2.4.D.d. Mouvement 4.....	87
III.2.4.D.e .Mouvement 5.....	88
III.2.4.D.f. Mouvement 6.....	89
III.2.4.E. Répartition chronologique des AU en fonction du mouvement .....	89
III.2.4.E.a Mouvement 1.....	90
III.2.4.E.b Mouvement 2.....	91
III.2.4.E.c. Mouvement 3 .....	93
III.2.4.E.d. Mouvement 4 .....	96
III.2.4.E.e. Mouvement 5 .....	99
III.2.4.E.f. Mouvement 6.....	102
III.2.4.F. Combinaison chronologique d'AU la plus fréquente.....	102
III.2.4.F.a Mouvement 1 .....	103
III.2.4.F.b Mouvement 2.....	103
III.2.4.F.c Mouvement 3 .....	103
III.2.4.F.d Mouvement 4 .....	103
III.2.4.F.e Mouvement 5 .....	104
III.2.4.F.f Mouvement 6 .....	104
III.2.4.G. Fréquence de l'AU 45 en fonction des mouvements .....	104
III.2.4.H. Fréquence de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 & 6) et de l'AU 25 dans le mouvement 6. ....	105
III.2.4.I. Corrélation entre analyse morphologique (type d'orbite) et présence fréquente de l'AU 45.....	106
<b>III.3. DISCUSSION .....</b>	<b>106</b>
III.3.1. Méthodologie .....	106
III.3.2. Reproductibilité.....	107
III.3.3. Consignes orales.....	108
III.3.4. Codage sur la cohorte .....	109
<b>III.4. CONCLUSION et PERPECTIVES.....</b>	<b>112</b>

## **CHAPITRE IV CARACTERISATION INTERNE DES MOUVEMENTS CHOISIS DE LA MIMIQUE FACIALE PAR L'IRM .....**

<b>IV.1. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>115</b>
IV.1.1. Matériel .....	115
IV.1.1.A IRM .....	115
IV.1.2.B Logiciel de traitement des données .....	115

IV.1.2. Population (muscles peauciers) étudiée.....	116
IV.1.3. Développement Méthodologique.....	118
IV.1.3.A. Séquence testée et choix de la séquence .....	118
IV.1.3.B. Description du protocole .....	119
IV.1.3.B.a Protocole d'Acquisition IRM .....	119
IV.1.3.B.b Segmentation 3D et reconstruction géométrique .....	119
IV.1.3.B.c Méthodes d'obtention des propriétés morphométriques des muscles segmentés ....	121
IV.1.4. Analyse de précision et reproductibilité de la segmentation .....	124
IV.1.4.A. Analyse de précision .....	124
IV.1.4.B. Obtention des mesures et comparaison aux données du fantôme .....	125
IV.1.4.C. Reproductibilité de la segmentation .....	126
<b>IV.2. RESULTATS .....</b>	<b>127</b>
IV.2.1. Morphométrie de 13 muscles peauciers (N=13) chez 1 sujet en position neutre et en position O. ....	127
IV.2.2. Paramétrisation morphologique du muscle zygomaticus major en position neutre .....	129
IV.2.2. A. Résultats obtenus par la méthode automatique .....	129
IV.2.2.B. Résultats obtenus par la méthode Patran .....	130
IV.2.2.B.a. Similitude des variations de moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur..	131
IV.2.2.B.b Courbe des moments d'inertie I1 des muscles zygomatiques en fonction du % de longueur .....	131
IV.2.2.B.c. Tendances des profils de courbe .....	133
IV.2.3 Déplacements et Déformations des muscles peauciers dans différentes positions .....	134
IV.2.3.A. Zygomaticus major dans les positions [o], [pμ] et sourire .....	135
IV.2.3.A.a. Modélisation et courbe de profil de moment d'inertie (Pattern) pour le Zygomaticus major. ....	135
IV.2.3.A.b. Modification de longueur de la ligne d'action du muscle, « Pattern », Amplitudes de déplacements entre les lignes d'action .....	136
IV.2.3.B. Levator labii superioris (releveur de la lèvre supérieur) dans la position [o] .....	142
IV.2.3.C. Levator anguli oris (Canin) dans la position [o]. ....	144
IV.2.3.D. Depressor anguli oris (Triangulaire) dans la position [o] .....	146
<b>IV.3.DISCUSION .....</b>	<b>148</b>
IV.3. Méthodologie .....	148
IV.3.2. Morphométrie de 13 muscles peauciers (N=13) chez 1 sujet en position neutre et en position [o] .....	149
IV.3.3. Paramétrisation morphologique du muscle zygomaticus major en position neutre .....	150
IV.3.4 Déplacements et Déformations des muscles peauciers dans différentes positions .....	152
IV.3.4.A. Zygomaticus major dans les positions [o], [pμ], et sourire .....	152
IV. 3.4.B. Autres muscles .....	152

<b>CONCLUSION.....</b>	<b>154</b>
<b>NOTE.....</b>	<b>157</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>159</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>223</b>
<b>COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES en rapport avec la Thèse.....</b>	<b>231</b>



# Table des Figures

Figure I.1. : Appareil branchial .....	5
Figure I.2 : Masses pré-musculaires Embryon de 14 mm .....	6
Figure I.3 : Différenciation des muscles du plan superficiel. Embryon 37 mm .....	6
Figure I.4. : Plan superficiel et profond des muscles peauciers . Embryon 80 mm .....	7
Figure I.5. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle frontal en bleu .....	5
Figure I.6. : Situation anatomique et représentation schématique muscle orbiculaire des paupières en vert .....	8
Figure I.7. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle corrugateur en bleu.....	9
Figure I.8.: Situation anatomique et représentation schématique du muscle abaisseur du sourcil en orange .....	9
Figure I.8.bis : Situation anatomique et représentation schématique du muscle pyramidal en bleu .....	10
Figure I.9. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle transverse en vert.....	10
Figure I.10. : Situation anatomique et représentation schématique de la partie alaire du muscle nasal en bleu .....	11
Figure I.11. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle myrtiliforme en jaune.....	11
Figure I.12. : Situation anatomique et représentation schématique de l'orbiculaire des lèvres, surligné en bleu ..	12
Figure I.13. : Situation anatomique et représentation schématique du canin droit et gauche, surligné en jaune ..	13
Figure I.14. : Situation anatomique et représentation schématique du carré du menton, surligné en orange .....	13
Figure I.15. : Situation anatomique et représentation schématique de la houppe ( à droite) , surligné en blanc ...	14
Figure I.16. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle grand zygomatique ( à droite), surligné en rouge .....	14
Figure I.17. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle petit zygomatique ( à droite) , surligné en vert.....	15
Figure I.18. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez ( à droite) , surligné en violet .....	15
Figure I.19. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle releveur de la lèvre supérieure ( à droite) , surligné en vert .....	16
Figure I.20. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle triangulaire ( à droite) , surligné en rose .....	16
Figure I.21. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle risorius ( à gauche) , surligné en jaune .....	17
Figure I.22. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle buccinateur ( à droite) , surligné en vert .....	17
Figure I.23. : Représentation schématique des muscles selon Sobotta .....	20
Figure I.24. : Classification de la répartition des muscles peauciers de la sangle des élévateurs selon Pessa ...	21
Figure I.25. : Différentes formes de sillon nasogénien .....	23

Figure I.26. : Analyse du sillon nasogénien .....	24
Figure I.27. : Classification des sourires selon RUBIN. ....	25
Figure I.28. : Points fixes de la face d'après Delmar.....	26
Figure I.29. : Points fixes de la joue d'après Furnas.....	27
Figure I.30. : Schématisation des actions musculaires d'après Kamina .....	28
Figure I.31. : Schématisation des muscles peauciers selon Fabre .....	29
Figure I.32. : Schématisation des actions des muscles peauciers et émotions d'après Rouvière.....	30
Figure I.33. : Levée du tissu cutané lors de la dissection .....	33
Figure I.34. : Photographies du rapport entre les vaisseaux faciaux et le muscle zygomaticus major.....	34
Figure I.35. : Photographie du muscle levator labii superioris alaeque nasi gauche .....	35
Figure I.36. : Photographies muscle levator anguli oris gauche.....	35
Figure I.37. : Photographie du muscle risorius gauche, terminaison du muscle présenté dans la pince inférieure .....	35
Figure I.38. :Schéma d'étude anatomique d'Ermiane .....	37
Figure I.39. : Exemple d'Action Unit codé dans le FACS .....	38
Figure I.40. : Région d'intérêt pour extraire les caractéristiques du visage (à gauche) exemple de tracking de points repères de la face.....	39
Figure I.41. : Profil d'AU chez un patient angoissé. Apparition AU 6 et AU 7 inappropriée.....	40
Figure I.42. : Exemple de patient atteint de paralysie faciale .....	41
Figure I.43. : Echelle de Sunnybrook .....	43
Figure I.44. : Exemple de mouvement demandé au patient : étirement des commissures vers le bas .....	44
Figure I.45. : Exemple de mouvement demandé au patient : mouvement du baiser.....	44
Figure I.46. : Facial nerve function index.....	45
Figure I.47. : Correspondance entre le score de House et Brackman et les valeurs dynamométriques .....	45
Figure I.48. : Faciomètre .....	46
Figure I.49. : Points repères étudiés par Johnston .....	48
Figure I.50. : Système de miroir selon Frey pour obtenir une image tridimensionnelle .....	49
Figure I.51 : Exemple de l'étude du mouvement des lèvres selon Mishima avec un système d'acquisition 3D chez un volontaire sain à gauche et chez un patient à droite .....	49
Figure I.52 : Illustration du mouvement d'étirement des commissures chez un sujet normal utilisant le principe de stéréophotogrammétrie .....	50
Figure I.53: Système de capture 3DMD, Motif infrarouge.....	50
Figure I.54 : Images en 3D .....	51
Figure I.55.: Visualisation quantitative des modifications des tissus mous de la joue entre la position debout et couchée chez le sujet jeune et âgé.....	52
Figure I.56.: Positionnement des points Hontanilla .....	53

Figure I. 57: Prototype d'échographie sans contact utilisé par Deng <i>et al.</i> (à gauche), comparaison entre l'imagerie échographique avec contact de la sonde d'échographie (A) et sans contact (B) ( au centre), aspect 3D du mouvement de la moue (à droite) .....	56
Figure I.58. :Modélisation d'une face d'un volontaire à partir de son scanner.....	56
Figure I.59. :Simulation d'une avancée mandibulaire .....	56
Figure I.60 : Mesure de l'épaisseur du muscle orbicularis oris selon Farrugia .....	59
Figure I.61. : Etude de la différence d'aspect entre le coté sain (A) et le coté paralysé (B) sur une coupe sagittale pour l'orbiculaire des paupières et pour le levator labii superioris (releveur) sur une coupe frontale .....	59
Figure I.62. : Coupe coronale groupe de muscle paranasal a : coté sain, et b : coté fendu, chez un patient atteint d'une fente labio alvéolopalatine avant opération (à gauche), après l'intervention (à droite) (Kleinheinz <i>et al.</i> , 2001).....	60
Figure I.63.: Segmentation des muscles peauciers .....	60
Figure I.64. : Segmentation des muscles peauciers et masticateurs semi automatique avec le logiciel AVIZO et exemple de segmentation chez le sujet pathologique .....	61
Figure II.1 :Comparaison des 2 positions maximales du mouvement sur le son [o] (gauche) et sur le son [pμ].....	66
Figure II.2 :Description des mouvements de structures anatomiques de la cavité buccale sur le son [o].....	67
Figure III.1 :Photographie illustrant les mouvement en cours de réalisation n°0,1,2,3,4,5 chez le sujet SIMOVI CN .....	74
Figure III.2 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Sélection des plans par mouvement et isolement des répétitions.....	75
Figure III.3 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Modification de la vitesse.....	75
Figure III.4 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Resynchronisation avec modification de la vitesse de lecture à 20%.....	76
Figure III.6: Reproductibilité intra-observateur en fonction du mouvement. ....	81
Figure III.7 : Reproductibilité du mouvement par le sujet .....	82
Figure III.8 : Durée moyenne de la séquence analysée en fonction du mouvement .....	83
Figure III.9 : Durée moyenne en secondes de l'exécution des mouvements .....	84
Figure III.10 : Répartition des sujets de la cohorte en fonction du nombre d'AU par mouvement.....	85
Figure III.11 : Nombre moyen d'AU par mouvement. ....	85
Figure III.12: Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	86
Figure III.13 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	87
Figure III.14 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte (n=20) .....	87
Figure III.15 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	88

Figure III.16 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte (n=21) .....	88
Figure III.17 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 6 sur l'ensemble de la cohorte (n=15).....	89
Figure III.18 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 1 en fonction du temps.....	90
Figure III.19 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte.	90
Figure III.20 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte..	91
Figure III.21 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 2 en fonction du temps.....	91
Figure III.22 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	92
Figure III.23 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	92
Figure III.24 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	92
Figure III.25 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	93
Figure III.26 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.	93
Figure III.27 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 3 en fonction du temps.....	94
Figure III.28 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	94
Figure III.29 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	94
Figure III.30 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	95
Figure III.31 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	95
Figure III.32 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	95
Figure III.33 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.	96
Figure III.34 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 4 en fonction du temps.....	96
Figure III.35 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	97
Figure III.36 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	97
Figure III.37 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	98
Figure III.38 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	98
Figure III.39 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	98
Figure III.40 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	99
Figure III.41 : Répartition en % des AU observées à l'instant T7 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.	99
Figure III.42 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 5 en fonction du temps.....	100
Figure III.43 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.....	100
Figure III.44 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	100
Figure III.45 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	101
Figure III.46 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	101

Figure III.47 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.....	101
Figure III.48 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte. ....	102
Figure III.49 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 6 en fonction du temps.....	102
Figure III.50 : Répartition en % de l'AU 45 dans chacun des mouvements.....	104
Figure III.51 : Répartition en % de l'AU 45 dans les différents mouvements palpébraux (1et2) ; de mouvements de protrusion labiale (3 et 4) et de mouvement d'étirement des commissures (5 et 6).....	105
Figure III.52: Répartition en % de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 et 6) sourire volontaire et sourire spontané.....	105
Figure III.53 :Développements réalisés dans le projet SIMOVI, à gauche mesures avec un scanner de surface, sur la plateforme du mouvement, à droite en stéréocorrélation .....	112
Figure III.54 : Perspectives .....	113
Figure IV.1 : Antenne tête et cou résolution 3T HD 8 canaux pour le système d'IRM GE Hdx .....	115
Figure IV.2. Masque.....	120
Figure IV.3. : Segmentation des muscles peauciers .....	120
Figure IV.4 : Exemple de fichiers STL des différents muscles reconstruits et segmentés chez le sujet SIMOVI LD .....	121
Figure IV.5. : Normale à la longueur du muscle en vert (exemple du muscle abaisseur de l'angle de la bouche), direction ayant permis le calcul de l'épaisseur moyenne en vert). Vue schématique.....	122
Figure IV..6 : Description de la méthode manuelle via PATRAN .....	122
Figure IV.7 : Images 2D de nuages de points 3D(a), reconstructions géométriques courbes (b) et surfaces (c) 123	
Figure IV.8 : Obtention de la longueur du muscle.....	123
Figure IV.9 : Photographie du fantôme.....	125
Figure IV.10 : Fantôme placé dans un tube à essai rempli d'eau pour le passage en IRM. Image IRM du Fantôme et Segmentation. Reconstruction tridimensionnelle et modèle géométrique Scan IP. 125	
Figure IV.11 : Segmentation du muscle zygomaticus major à partir de 2 acquisitions différentes protocole 1 et calcul du volume. ....	126
Figure IV.12. Représentation graphique des résultats de la segmentation du muscle zygomaticus major dans différentes positions et erreur relative par rapport à la moyenne des volumes calculés dans la position neutre. 127	
Figure IV.13 : Résultats graphiques de la reconstruction géométrique tridimensionnelle en position neutre sujet SIMOVI LD01.....	128
Figure IV.14. : Reconstruction géométrique tridimensionnelle en position O.....	129
Figure IV.15. : Volume du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population.....	129
Figure IV.16. : Longueur du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population.....	130
Figure IV.17 : Epaisseur du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population .....	130

Figure IV.18 : Exemple de variation des moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur pour le sujet SIMOVI DP04 .....	131
Figure IV.19 : Profil de courbe du moment d'inertie I1 en fonction du % de longueur « Pattern » des muscles zygomaticus major .....	132
Figure IV.20 : Profil de courbe en « cloche » avec augmentation de I1 dans la première moitié du muscle.....	133
Figure IV.21 : Profil de courbe 2 avec augmentation de I1 dans la deuxième moitié du muscle.....	134
Figure IV.22 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche. Modélisation du muscle zygomaticus major en position neutre à droite.....	135
Figure IV.23 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche, modélisation du muscle zygomaticus major sur la position [o] à droite.....	135
Figure IV.24 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche, modélisation du muscle zygomaticus major sur la position [pμ] à droite .....	136
Figure IV.25 : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche.....	136
modélisation du muscle zygomaticus major sur la position sourire à droite.	
Figure IV.26 : Modification des lignes d'action dans les positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la position neutre, vue de face d'une modélisation du zygomaticus major droit de simovi DP01.....	137
Figure IV.27 : Modification des lignes d'action dans les positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la position neutre, vue latérale d'une modélisation du zygomaticus major droit de simovi DP01.....	137
Figure IV.28 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [pμ] par rapport à la position neutre à gauche, Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et [pμ] à droite.....	138
Figure IV.29 : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position [pμ], vue de face à gauche, latérale.....	138
Figure IV.30 : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position [ pμ].....	138
Figure IV.31 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et [o] à droite.....	139
Figure IV.32 : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position [o], vue de face à gauche, latérale.....	139
Figure IV.33 : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position [o] .....	140
Figure IV.34 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position sourire par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et sourire à droite.....	140

Figure IV.35. : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position sourire, vue de face à gauche, latérale.....	141
Figure IV.36. : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position sourire .....	141
Figure IV.37. : Modélisation du muscle Levator labii en vue de face position neutre à gauche et position [o] à droite.....	142
Figure IV.38. : Modification des lignes d'action du muscle releveur droit dans les position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à gauche, vue latérale à droite).....	143
Figure IV.39 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre (à gauche). Comparaison de la modélisation du muscle Levator labii superioris dans les positions neutre et [o] (à droite).....	143
Figure IV.40. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position O (rouge) (vue de face d'un muscle releveur de la lèvre supérieure droit).....	143
Fig IV.41. : Modélisation du muscle Levator Anguli Oris (Canin) Gauche en vue latérale position neutre à gauche et position [o] à droite.....	144
Fig IV.42: Modification des lignes d'action du muscle canin gauche dans les position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à droite, vue latérale à gauche).....	145
Fig IV.43. : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle Levator Anguli Oris dans les positions neutre et [o] à droite.....	145
Fig IV.44. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position O (rouge) (vue latérale d'un muscle canin gauche) et vecteur directeur de déplacement.....	145
Fig IV.45. : Modélisation du muscle Depressor Anguli Oris (triangulaire Gauche en vue latérale position neutre à gauche et position [o] à droite).....	146
Figure IV.46. : Modification des lignes d'action du muscle triangulaire droit dans la position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à droite, vue latérale à gauche) .....	147
Figure IV.47. Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle Depressor Anguli Oris dans les positions neutre et [o] à droite .....	147
Figure IV.48. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position [o] (rouge) (vue face d'un muscle triangulaire gauche) et vecteur directeur de déplacement.....	148
Figure IV.49. : Représentation schématique de la musculature peaucière déduite de la banque de données visible human data .....	149
Figure IV.50. : Différence de méthode de calcul de longueur de muscle.....	149
Figure IV.51.: Aspect de bifidité de muscle zygomaticus major en reconstruction géométrique.....	150

# Liste des Tableaux

Tableau I.1. : Muscles peauciers d'après Sobotta (Sobotta,1994).....	19
Tableau I.2. : Comparaison chez 7 sujets entre hémiface droite et gauche selon les répartitions décrites à la figure I.24.....	22
Tableau I.3. : Muscles peauciers et leurs actions en rapport avec une émotion selon Duchenne de Boulogne....	30
Tableau I.4. : Morphométrie longueur et largeur du muscle frontal .....	31
Tableau I.5. : Morphométrie (largeur )du muscle orbiculaire palpébral .....	31
Tableau I.6. : Morphométrie longueur et largeur corrugateur .....	31
Tableau I.7. : Morphométrie longueur et largeur du muscle canin.....	31
Tableau I.8. : Morphométrie longueur et largeur du muscle carré du menton.....	32
Tableau I.9. : Morphométrie longueur et largeur du muscle de la houppe .....	32
Tableau I.10. : Morphométrie longueur et largeur du muscle grand zygomatique ...	32
Tableau I.11. : Morphométrie longueur et largeur du muscle petit zygomatique .....	32
Tableau I.12. : Morphométrie longueur et largeur du muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez	32
Tableau I.13. : Morphométrie longueur et largeur du muscle releveur de la lèvre supérieure .....	32
Tableau I.14.: Morphométrie longueur et largeur du muscle triangulaire .....	32
Tableau I.15. : Comparaison des mesures de longueur et de largeur de nos dissections et de celles de la littérature .....	35
Tableau I.16. : Score de House pour l'évaluation des paralysies faciales .....	42
Tableau I.17. : Facial Paralysis Recovery Profile d'après (Adour & Swanson, 1971) .....	42
Tableau I.18. : Cotation évaluée dans le testing des muscles peauciers (Chevalier & Lacôte,1996).....	44
Tableau I.19. : Nombre de points repères et points références utilisés selon les différents auteurs dans l'analyse de la mimique faciale .....	53
Tableau I.20. : Comparaison de l'épaisseur du muscle levator labii superioris (releveur) et du zygomaticus major (grand zygomatique).....	55
Tableau I.21 : Mesures morphométriques des orbiculaires des lèvres et des paupières (Farrugia et al.,2006)..	59
Tableau I.22. : Volume moyen de 13 muscles peauciers mesurés par Volk (Volk et al.,2014).....	61
Tableau I.23. Revue des études IRM menées sur les muscles peauciers.....	62
Tableau III.1 : Caractéristiques cliniques des sujets inclus dans la cohorte.....	71
Tableau III.2 :Tests de la consigne orale sur 10 sujets volontaires sains .....	80
Tableau III.3 : Coefficient de corrélation Kappa entre différentes observations d'un même fichier vidéoscopique par un observateur identique et interprétation pour chacun des mouvements.....	81
Tableau III.4. :Coefficient de corrélation Kappa entre plusieurs fichiers vidéos.....	82
Tableau III.5 : AU les plus fréquentes aux instants T1 et T2 du mouvement 1.....	103



Tableau III.6 : AU les plus Fréquentes aux instants T1 à T5 du mouvement 2 .....	103
Tableau III.7 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5,T6 du mouvement 3 .....	103
Tableau III.8 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5,T6, T7 du mouvement 4 .....	103
Tableau III.9 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5,T6 du mouvement 5 .....	104
Tableau III.10 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5, T6 du mouvement 6 .....	104
Tableau IV.1. Caractéristiques des volontaires sains inclus dans le protocole .....	117
Tableau IV.2. Séquences IRM testées .....	118
Tableau IV.3 : Paramètres des séquences du protocole 1 et 2 .....	119
Tableau IV. 4 : Données morphométriques du fantôme .....	125
Tableau IV.5 : Erreur relative entre les dimensions connues du fantôme et celles calculées .....	126
Tableau IV.6 : Résultats de la segmentation du muscle zygomaticus major dans différentes positions et erreur relative constatée .....	127
Tableau IV.7. Morphométrie des muscles peauciers en position neutre .....	128
Tableau IV.7bis : Valeurs moyennes des paramètres de volume, de longueur et d'épaisseur du muscle grand zygomatique obtenues dans notre population .....	130
Tableau IV.8 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action dans les différentes positions [o], [pμ] et sourire .....	137
Tableau IV.9 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'insertion et de l'extrémité de la ligne d'action dans la position [o] .....	142
Tableau IV.10 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action dans la position [o] .....	144
Tableau IV.11 : Longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité et de la terminaison de la ligne d'action dans la position [o] ..	146



# INTRODUCTION



Dès les premiers mots de l'introduction de cette thèse, il nous semble important d'expliciter ce qui nous a amenée à nous interroger sur la « biomécanique de la mimique ». En effet les termes de biomécanique et mimique peuvent paraître s'opposer surtout si le lecteur associe d'emblée la mimique aux émotions, à la communication non verbale, aux sentiments. C'est peut être « l'expérience » de la pratique de l'observation de la récupération des patients atteints d'une paralysie faciale ou celle de la récupération motrice d'un allotransplant facial (Dakpé, 2006 ; Dubernard, 2008) qui nous ont obligée à scinder artificiellement la mimique en plusieurs objets d'études et à la considérer comme un enchaînement de postures, pour ainsi poser la question de la récupération d'une fonction manquante.

Est-ce que cela fonctionne ? Est-ce que le patient récupère sa mimique ? Mieux comprendre la mimique commençait donc pour nous par mieux comprendre le mouvement, et les déformations de la surface cutanée induites par les muscles peauciers sous jacents. Les manquements inhérents à ce parti pris dans ce travail pourraient apparaître comme plus significatifs que les éléments développés. Ainsi était-ce légitime de ne pas explorer la communication, l'émotion, les relations entre mimique et système nerveux central ; d'autant plus que la mimique faciale, suite de changements d'apparence cutanée induits par les contractions et décontractions des muscles peauciers, trouve son substrat dans la peau. Si nous reprenons l'origine embryologique ectodermique de cette dernière commune avec le système nerveux, la mimique pourrait être considérée comme simple « distorsion » de « cerveau étalé ».

Dans ce travail, il y a donc une partialité à réduire la mimique à une certaine « utilité » que nous appelons communément fonction, position loin de l'analyse interprétative engageant la communication, l'émotion, et le sentiment. Parfaitement lucide à propos de ces écueils, nous ajouterons qu'il ne s'agit pas de nier l'existence de ces autres domaines, mais de permettre d'approfondir une première hypothèse de travail. Il est remarquable d'ailleurs que tout mouvement, posture corporelle est capable de jouer un rôle de communication dans la transmission d'une émotion, ou d'un sentiment, mais que l'amalgame n'est jamais si grand que dans celui qui est réalisé entre mouvements faciaux et émotion.

Ainsi, d'une part, nous restons consciente du fait que standardiser, mesurer, quantifier ne sont pas les seuls moyens d'analyser une mimique, et qu'à chercher à la définir à travers un but de compétences fonctionnelles, d'expression, de communication, nous pourrions lui retirer une certaine poésie et oublier qu'elle éclaire ou assombrit parfois une face sans que l'on puisse traduire cela objectivement, sauf peut être par le moment où la face devient visage, symbole ultime de notre humanité ; et d'autre part, nous nous refusons, car cela serait réducteur, à ne considérer et n'expliciter la mimique que par le biais des émotions.

Replacer l'étude d'un point de vue du mouvement apparaît donc être une propédeutique à d'autres travaux (exactement comme le geste dansé, ou le geste musical où l'artiste danseur ou musicien apprend avant de transmettre l'émotion par le geste, s'intéresse à la gestuelle du mouvement).

En effet, qui y aurait-il donc de commun entre l'expression de la pensée par le geste (définition courante de la mimique) et la mécanique du vivant c'est à dire l'exploration des propriétés mécaniques des tissus biologiques, si ce n'est le mouvement. Le geste, le mouvement, dont la mécanique représente la science, explicite bien la synergie des termes biomécanique et mimique.

Après avoir réalisé un état de l'art dans une première partie, ce travail est donc construit en s'attachant :

- dans la deuxième partie à identifier et sélectionner les mouvements de la mimique à étudier. En effet, à partir d'une combinaison théorique des contractions et décontractions des muscles peauciers, Ermiane avance que 145 000 milliards de combinaisons sont possibles (Ermiane, 1949). Nous présentons donc les mouvements choisis dans cette thèse et justifions ce choix (Chapitre II. IDENTIFICATION DES MOUVEMENTS PERTINENTS DE LA MIMIQUE FACIALE),

- dans une troisième partie, à mieux caractériser le mouvement externe (les déplacements cutanés) dans une analyse descriptive qualitative et clinique basée sur une méthodologie s'appuyant sur l'analyse d'enregistrements vidéoscopiques (Chapitre III. CARACTERISATION EXTERNE DES MOUVEMENTS CHOISIS DE LA MIMIQUE FACIALE),

- dans une quatrième partie, à définir une méthodologie à partir de l'IRM permettant de caractériser certains muscles peauciers impliqués dans la mimique faciale. Cette caractérisation a fait appel à partir d'une anatomie in vivo à une modélisation du muscle afin d'extraire des paramètres morphologiques, de réaliser une analyse plus fine de la morphologie musculaire en 3 dimensions, et d'apporter une meilleure compréhension du comportement cinématique du muscle dans différentes positions (Chapitre IV. CARACTERISATION INTERNE DES MOUVEMENTS CHOISIS DE LA MIMIQUE FACIALE).

La synthèse et les perspectives de ce travail, qui font partie intégrante du Projet SIMOVI (Simulation des MOuvements du Vlsage) et s'appuient sur les équipements de l'Equipex FIGURES, sont enfin abordées dans la conclusion. Ainsi, nos recherches sont intégrées dans un questionnement plus vaste : Comment pouvons nous caractériser objectivement la mimique faciale ? Quels sont les indicateurs qualitatifs et quantitatifs de la mimique que nous pouvons recueillir et comment réaliser ce recueil ? Comment utiliser les développements technologiques dans les applications cliniques ?



# CHAPITRE I



## ETAT DE L'ART

## I.1. ANATOMIE DES MUSCLES PEAUCIERS<sup>1</sup>

*Dans cette partie, une brève description des muscles d'intérêt (i.e. certains muscles peauciers), est présentée. Celle-ci regroupe les muscles par région anatomique et n'adopte pas une description plan par plan (profond vs superficiel) ou selon les actions des muscles (constricteurs vs dilatateurs) comme il est classiquement décrit dans les ouvrages anatomiques. Il est remarquable que peu de sources révèlent le nombre de dissections anatomiques sur lesquelles ont été établies les descriptions des ouvrages qui servent de référence, et il ne faut pas méconnaître au delà de ces descriptions types et schématiques la variabilité inter et intra-individuelle.*

### I.1.1. Rappel embryologique. Myogénèse faciale.

Les muscles peauciers ont une origine unique et dérivent du 2<sup>ème</sup> arc branchial (Fig I.1). Ces muscles sont innervés par un seul et même nerf, le nerf facial (VII). La myogénèse faciale est basée sur la migration des prémyoblastes du système branchial (arc pharyngés, rhombomères 3-4).

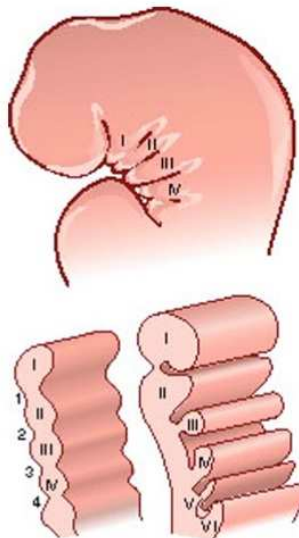


Figure I.1. : Appareil branchial (Davrou, 2010)

La séquence de développement et de différenciation musculaire est en relation étroite avec le développement de ce nerf facial et présente classiquement selon Gasser (Gasser, 1967) 5 stades. Ces derniers sont distingués en fonction de la taille de l'embryon.

Au stade I (embryon 4,2 à 6,5 mm), le mésenchyme de la partie ventrale et moyenne du second arc s'étend pour s'unir à l'arc du côté opposé et entoure la terminaison du nerf facial.

Au stade II (embryon 8 à 20 mm)(Fig I.2), les formations pré-musculaires apparaissent, d'abord sous forme de condensation mésenchymateuses, puis en ébauches musculaires qui s'organisent en 2 couches : plan superficiel et profond. Le plan superficiel va être à l'origine de la lamina occipitalis, cervicalis et mandibularis, le plan profond à l'origine du complexe digastrique postérieur. Ces



condensations sont à l'origine du muscle stylohyoïdien, du ventre postérieur du muscle digastrique et du muscle stapedius.

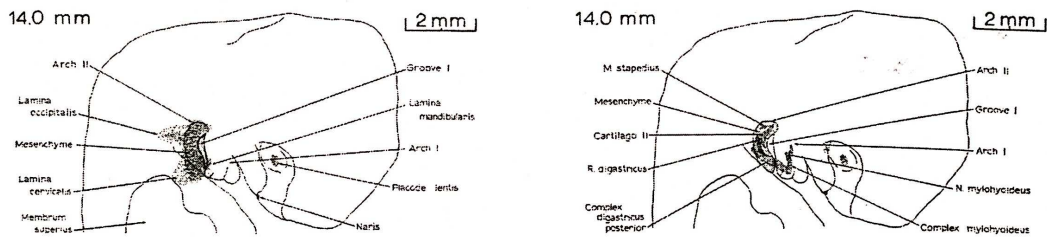


Figure I.2 : Masses pré-musculaires Embryon de 14 mm (Gasser, 1967)

Au stade III (embryon de 20 à 45 mm) (Fig I.3), les muscles peauciers se différencient. A partir du plan superficiel, apparaissent la lamina infra-orbitalis et une ébauche précurseur du platysma. La lamina temporalis va former le muscle auriculaire supérieur, la lamina occipitalis donne le muscle auricularis posterior, le ventre occipital du muscle occipito-frontal et le platysma occipital. Le platysma dérive pour sa partie cervicale de la lamina cervicalis, pour ses expansions mandibulaires de la lamina mandibularis. Cette dernière lame est également à l'origine du muscle depressor anguli oris, du buccinateur, et levator anguli oris. Les muscles zygomatiques (zygomaticus major et minor) se développent à partir d'une lame conjointe latérale à la lame infra-orbitalis.

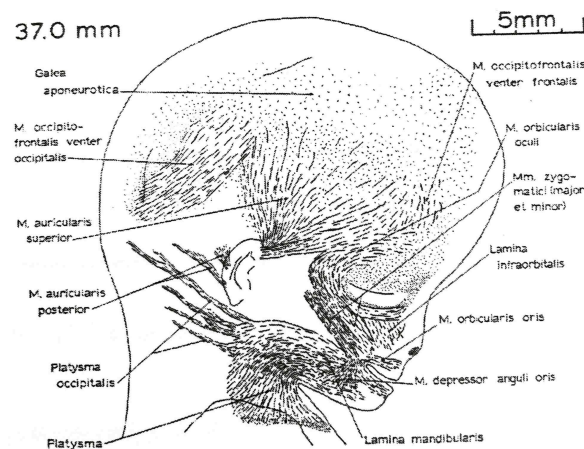


Figure I.3 : Différenciation des muscles du plan superficiel. Embryon 37 mm (Gasser, 1967)

Au stade IV (embryon 50 à 146 mm) (Fig I.4), la différenciation se poursuit avec les muscles risorius, depressor labii inferioris, corrugator supercilii et levator labii superioris qui s'individualisent. La pars orbitalis du muscle orbicularis oculi rejoint la partie frontale du muscle occipitofrontalis et forme le procerus. Les muscles mentalis, nasalis, depressor septi et levator labii superioris alaeque nasi se différencient un peu plus tardivement (80mm).

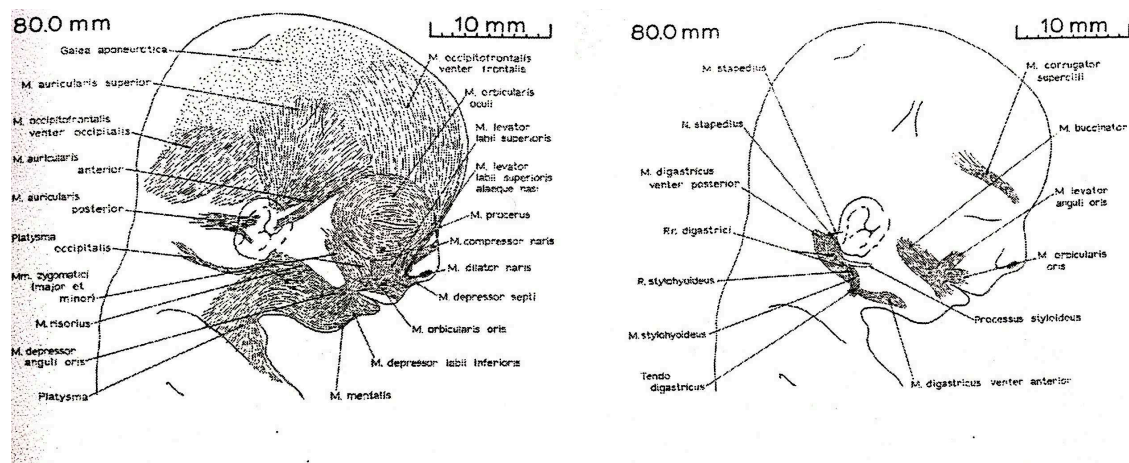


Figure I.4. : plan superficiel et profond des muscles peauciers . Embryon 80 mm (Gasser, 1967)

Au stade V (210 à 360 mm), la maturation des muscles peauciers se poursuit chez le fœtus. Le platysma occipital a disparu, le risorius est inconstant, il est parfois difficile de différencier les zygomaticus minor et major. Tous les muscles du plan profond ont une insertion osseuse ou cartilagineuse.

### I.1.2. Anatomie descriptive des muscles d'intérêt

Les muscles peauciers sont des muscles striés, avec les propriétés classiques de contractilité, d'excitabilité, de tonicité et d'élasticité. Ils ont cependant la particularité de présenter une insertion osseuse et une terminaison cutanée à la différence des muscles des membres et du tronc et ils n'ont pas de tendons. La description la plus couramment admise décrit une musculature profonde et superficielle et oppose les muscles constricteurs aux muscles dilatateurs. La description suivante est topographique.

#### I.1.2.A.Muscle Frontal (Frontalis)

Ventre antérieur du muscle occipito-frontalis, il s'agit d'un muscle quadrilatère aplati, pair et symétrique (Fig I.5). En haut il s'insère sur la galéa aponévrotique et ses fibres terminales s'entrecroisent vers le bas avec celle du procerus et de la pars orbitalis du muscle orbicularis oculi. La contraction de ce muscle abaisse la ligne d'implantation capillaire et élève les sourcils.



Figure I.5. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle Frontal en bleu (ventre antérieur du muscle occipito-frontal), d'après Todd (Todd,2002)

### **I.1.2.B.Muscles palpébraux**

Ils comprennent l'orbiculaire des paupières (constricteur) et le muscle sourcilier, le muscle abaisseur des sourcils.

#### **I.1.2.B.a. Muscle orbiculaire palpébral (orbicularis oculi)**

Il s'agit d'un muscle plat de forme elliptique, centré dans son grand axe par la fente palpébrale. Sa portion palpébrale interne est limitée aux paupières (Fig I.6). Celle-ci est formée par deux portions semi-circulaires supérieure et inférieure. Elles sont unies en interne par le ligament canthal médial et en externe par le ligament canthal latéral. En périphérie, la portion orbitaire circonférentielle épouse le cadre orbitaire et s'étend à la région sourcilière, la tempe et la partie supérieure de la joue. Le muscle palpébral est un antagoniste du muscle frontal.

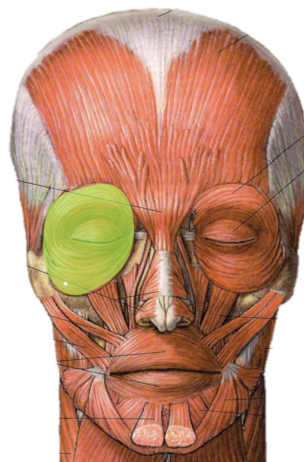


Figure I.6. : Situation anatomique et représentation schématique muscle orbiculaire des paupières en vert d'après Todd (Todd,2002)

#### I.1.2.B.b. Muscle corrugateur du sourcil ou sourcilier (muscle corrugator supercilii)

Son point d'origine est l'arcade sourcilière. Il se dirige horizontalement vers la portion interne du sourcil (Fig I.7). Il est profond, et son action cutanée se fait de manière indirecte à travers le muscle pyramidal, le frontal et l'orbiculaire. Sa contraction fait apparaître les rides glabellaires verticales (rides du lion).



Figure I.7. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle corrugateur en bleu d'après Todd (Todd,2002)

#### I.1.2.B.c. Muscle abaisseur du sourcil (muscle depressor supercilii)

Il naît du processus nasal de l'os frontal et se termine dans la partie cutanée de la portion du sourcil appelée « tête du sourcil », qu'il abaisse (Fig I.8).

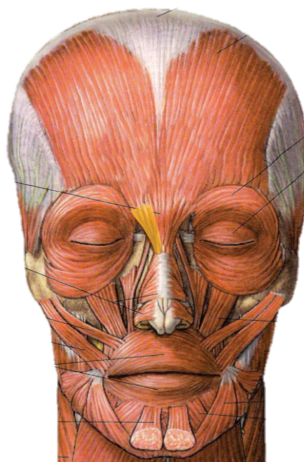


Figure I.8.: Situation anatomique et représentation schématique du muscle abaisseur du sourcil en orange d'après Todd (Todd,2002)

### I.1.2.C. Muscle pyramidal (procerus)

De forme rectangulaire, le muscle pyramidal est placé verticalement sur la racine du nez. Il s'insère sur les os propres du nez et les cartilages latéraux du nez, puis se fixe au niveau de la peau intersourcilière (Fig I.8 bis). Antagoniste du muscle frontal, il tire la peau du front vers le bas.



Figure I.8.bis : Situation anatomique et représentation schématique du muscle pyramidal en bleu d'après Todd (Todd,2002)

### I.1.2.D. Muscles de la pyramide nasale.

#### I.1.2.D.a. Muscle nasal

- Partie transverse du muscle nasal (muscle compressor naris)

Il se situe au niveau de la face latérale du nez dans sa partie moyenne (Fig I.9). L'insertion fixe se situe sur l'aponévrose dorso-nasale et sa partie mobile se termine au niveau du sillon paralatéronasal.

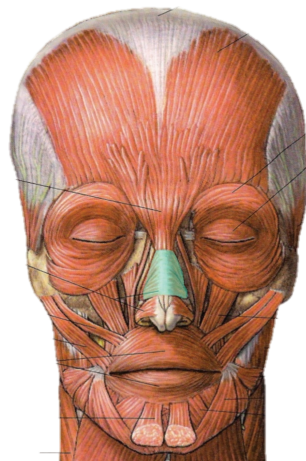


Figure I.9. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle transverse en vert d'après Todd (Todd,2002)

- Partie alaire du muscle nasal (muscle dilatator naris)

Situé au dessus du cartilage alaire, c'est un éventail très fin s'insérant sur la crus latérale ayant une action uniquement dilatatrice (Fig I.10).

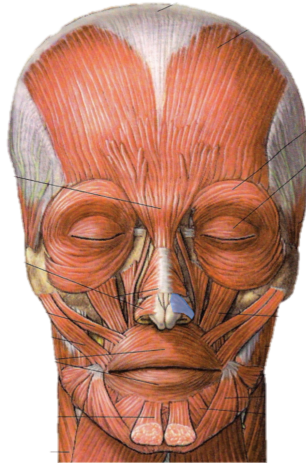


Figure I.10. : Situation anatomique et représentation schématique de la partie alaire du muscle nasal en bleu d'après Todd (Todd,2002)

I.1.2.D.b. Muscle myrtilforme ou abaisseur du septum nasal (muscle depressor septi)

Ce muscle est profond, et se fixe sur les saillies alvéolaires de la fosse canine (Fig I.11). Il atteint la face postérieure de l'orifice nasal. Il abaisse les seuils narinaux et le pied de la columelle.

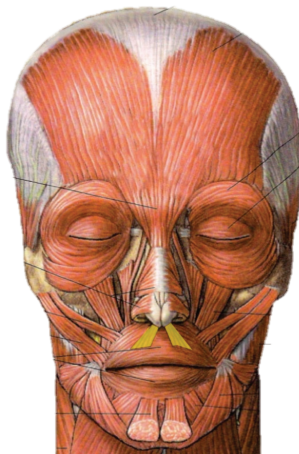


Figure I.11. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle myrtilforme en jaune d'après Todd (Todd,2002)



### I.1.2.E. Muscles de la lèvre

#### I.1.2.E.a. Muscles constricteurs de la lèvre

##### - Muscle orbiculaire des lèvres (orbicularis labii)

De forme elliptique, il est centré sur la fente buccale (Fig I.12). Ce muscle est composé de deux parties, sa partie externe qui s'étale sur les 2/3 de la hauteur des lèvres, sa partie interne de forme annulaire qui s'étend dans l'épaisseur des lèvres. Il reçoit de nombreuses extensions du muscle dilateur, en particulier au niveau des commissures.

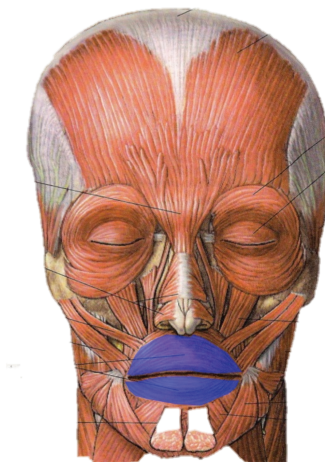


Figure I.12. : Situation anatomique et représentation schématique de l'orbiculaire des lèvres, surligné en bleu d'après Todd (Todd,2002).

##### - Muscle Compresseur des lèvres

Ses fibres orientées de manière sagittale se fixent sur la peau labiale, puis sur la muqueuse labiale qui participe à la succion.

##### - Muscles incisifs

Ils cheminent horizontalement sur la face profonde de l'orbiculaire, projettent les commissures en avant et en dedans.

#### I.1.2.E.b. Muscles dilateurs

C'est un système périphérique à fibres radiées. Les muscles dilateurs sont disposés en deux plans, profond et superficiel. Le plan profond est constitué par le muscle canin, le muscle buccinateur, le muscle carré du menton et le muscle de la houppe.

- Muscle canin ou élévateur de l'angle de la bouche  
(muscle levator anguli oris)

De forme quadrilatère, il s'insère au niveau de la fosse canine et la base de l'apophyse montante du maxillaire vers la peau de la commissure (Fig I.13). Sa face profonde est en rapport avec le pédicule infra-orbitaire et l'artère faciale. Il élève la lèvre supérieure en découvrant la canine.

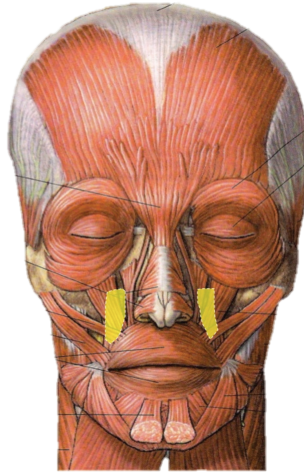


Figure I.13. : Situation anatomique et représentation schématique du canin droit et gauche, surligné en jaune d'après Todd (Todd,2002).

- Muscle carré du menton ou abaisseur de la lèvre inférieure  
(muscle depressor labii inferioris).

Il est mince et a pour origine le tiers inférieur de la ligne oblique externe et gagne en haut et en dedans la peau de la partie externe du menton et de la lèvre inférieure (Fig. I.14). Il abaisse la lèvre inférieure.



Figure I.14. : Situation anatomique et représentation schématique du carré du menton, surligné en orange d'après Todd (Todd,2002)..



- Muscle de la houppe du menton.

Il s'insère sur la saillie alvéolaire de l'incisive inféro-externe et de la canine pour gagner la peau du menton (Fig. I.15). Il fronce la peau du menton et éverse la lèvre inférieure.



Figure I.15. : Situation anatomique et représentation schématique de la houppe ( à droite) , surligné en blanc d'après Todd (Todd,2002).

Le plan superficiel est formé par le releveur superficiel et profond de l'aile du nez et de la lèvre supérieure, le petit zygomatic, le grand zygomatic, le triangulaire des lèvres ,le risorius et le peaucier du cou.

- Muscle grand zygomatic (zygomaticus major).

Il s'insère sur l'os malaire se dirige en bas et en dedans à 45° environ pour finir au niveau de la commissure labiale (versant muqueux et cutané)(Fig.I.16). Il tire la commissure labiale en haut et en dehors.

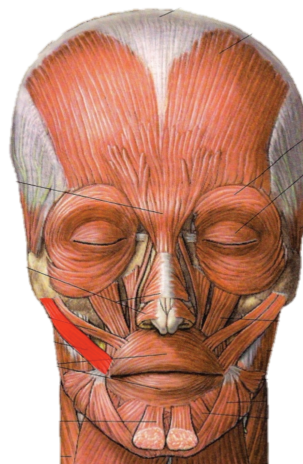


Figure I.16. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle grand zygomatic ( à droite) , surligné en rouge d'après Todd (Todd,2002).

- Muscle petit zygomatique (Zygomaticus minor).

Il naît de la partie inférieure du malaire, chemine vers le bas entre le grand zygomatique et le releveur profond et superficiel de l'aile du nez et de la lèvre, pour finir sur la peau de la lèvre (Fig I.17). Il élève la lèvre supérieure.



Figure I.17. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle petit zygomatique ( à droite) , surligné en vert d'après Todd (Todd,2002).

- Muscle releveur profond et superficiel de l'aile du nez et de la lèvre  
(levator labii superioris alaeque nasi)

Le faisceau superficiel s'insère sur l'apophyse montante du maxillaire et sur le rebord orbitaire. Il descend verticalement vers l'aile narinaire et la lèvre supérieure dans le sillon nasogénien (Fig I.18). Le faisceau profond rejoint l'aile narinaire et la lèvre supérieure en empruntant un trajet plus profond et plus latéral. Il élève la lèvre supérieure et dilate l'aile narinaire.

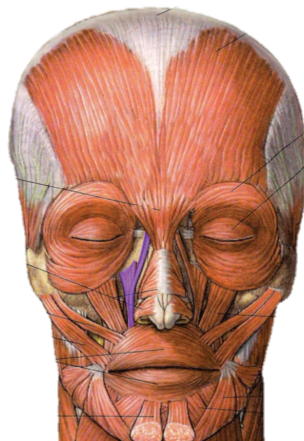


Figure I.18. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez ( à droite) , surligné en violet d'après Todd (Todd,2002).

- Muscle releveur de la lèvre supérieure (muscle levator labii superioris)

Il s'insère sur le rebord infra-orbitaire du malaire et termine dans la lèvre supérieure (Fig I.19). C'est un élévateur de la lèvre supérieure et dilatateur de l'aile nasinaire.

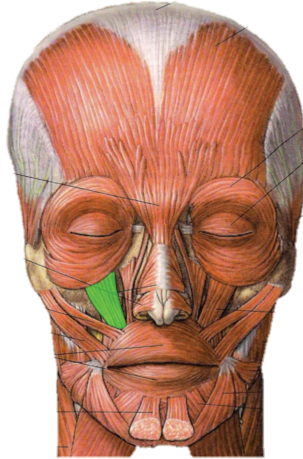


Figure I.19. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle releveur de la lèvre supérieure ( à droite) , surligné en vert d'après Todd (Todd,2002).

- Muscle triangulaire des lèvres ou abaisseur de l'angle de la bouche (depressor anguli oris)

Il s'étend de la mandibule à la commissure labiale (Fig I.20). Il abaisse la commissure et l'attire en latéral. Il allonge et verticalise le sillon nasogénien.



Figure I.20. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle triangulaire ( à droite) , surligné en rose d'après Todd (Todd,2002).

- Muscle risorius

Il s'agit d'un muscle très superficiel qui prend naissance sur l'aponévrose parotidienne et joint la peau de la commissure labiale (Fig I.21). Il écarte les commissures.



Figure I.21. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle risorius ( à gauche) , surligné en jaune d'après Todd (Todd,2002).

### I.1.2.F. Muscle buccinateur.

Il s'agit d'un muscle épais, quadrilatère situé en profondeur dans la région jugale. Il s'insère en haut sur le bord alvéolaire molaire, en bas sur la ligne oblique externe de la mandibule et en arrière sur le ligament intermaxillaire (Fig I.22). Ses fibres se terminent sur la peau et la muqueuse de la commissure labiale et des lèvres inférieures et supérieures. L'action dépend de la présence ou de l'absence d'un contenu buccal. Si la bouche est vide et close, son action plaque la muqueuse jugale aux dents, si la bouche est vide , il tire la commissure labiale en dehors. Il permet d'expulser le contenu de la cavité buccale si la bouche est pleine. Il intervient également dans l'action de siffler, souffler.

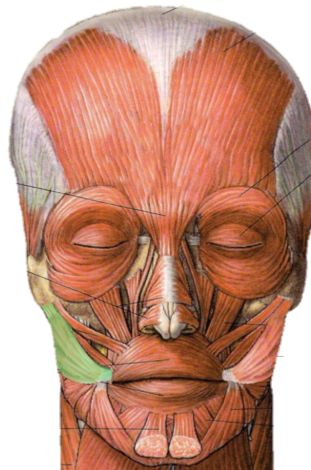


Figure I.22. : Situation anatomique et représentation schématique du muscle buccinateur ( à droite) , surligné en vert d'après Todd (Todd,2002).

### I.1.2.G. Tableau de synthèse et représentation schématique

Muscles peri-labiaux	Origine	Terminaison	Fonction
1. M. releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez/ levator labii superioris alaeque nasi	Emerge de la masse du m. orbiculaire de l'œil	Aile du nez et lèvre supérieure	Par le faisceau labial , il élève les portions médianes de la lèvre supérieure. Par le faisceau nasal il élève directement l'aile du nez. Accentue et élève le sillon nasogénien. Dilatateur de la narine.
2. M. releveur de la lèvre supérieure/levator labii superioris	Emerge de la masse du m. orbiculaire de l'œil (bord infra-orbitaire)	Aile du nez et lèvre supérieure	Élévateur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez
3. M. petit zygomatique/zygomaticus minor	Se détache d'un m. orbiculaire de l'œil (os zygomatique, face latérale)	Angle de la bouche	Élévateur de la lèvre en cranial et latéral, la retousse
4. M. grand zygomatique/zygomaticus major	Os zygomatique, face latérale	Angle de la bouche	Ascension en crânial et latéral de la commissure. Ascension des téguments de la joue. apparition rides patte d'oie.
5. M. risorius	Fascia massétéрин	Angle de la bouche	Etirement des commissures
6. M. abaisseur de l'angle de la bouche/depressor anguli oris	Bord basilaire de la mandibule	Angle de la bouche et lèvre inférieure	Abaisseur de la lèvre inférieure et éverseur du bord libre.
7. M. releveur de l'angle de la bouche	Maxillaire, fosse canine	Musculature de la lèvre supérieure et angle de la bouche	Élévateur de la lèvre supérieure et de la commissure/découvre les dents du maxillaire en particulier la canine
8. M- abaisseur de la lèvre inférieure/depressor labii inferioris/carré	Base de la mandibule	Lèvre inférieure	Abaisseur de la lèvre inférieure et éverseur de son bord libre
9. M. orbiculaire de la bouche	Se déduit des appellations : partie marginale, partie labiale	Fente orale	Constricteur de l'orifice buccal Pars labialis: pincement des lèvres; pars marginalis: projection des lèvres.
10. M. mentonnier / mentalis/Levator menti	Jugum alvéolaire de l'incisive latérale inférieure	Peau de menton	Élévateur des parties molles du menton/crée la fossette du menton
11. M. transverse du menton/transversus menti	En avant et sur le côté de la mandibule	Region sus hyoïdienne	inconstant
12. M. buccinateur	Corps de la mandibule, maxillaire, extrémité postérieure du proc. alvéolaire, fascia bucco-pharyngien	Angle de la bouche	Rétrécit le vestibule oral, expulse l'air, important au cours de la mastication

Muscles du nez	Origine	Terminaison	Fonction
<b>1. M. nasal</b>  Partie transverse  Partie alaire	Champ au-dessus de la racine de la canine Champ au-dessus de la racine de l'incisive latérale	Tendon aplati au dos du nez  Pourtour de la narine	Mouvement du nez, de l'aile en particulier
<b>2. M. abaisseur de septum nasal</b>	Champ au-dessus de l'incisive médiane	Septum nasal cartilagineux	Abaisse le septum nasal

Muscle fente palpébrale	Origine	Terminaison	Fonction
<b>1. M. orbiculaire de l'œil</b> Partie palpébrale : pars palpebralis  Partie lacrymale : pars lacrimalis	Maxillaire, proc. Frontal, angle médial de l'œil, lig. Palpébral médial  Crête lacrymale postérieure	Entoure l'entrée de l'orbite à la manière d'un sphincter ; va en partie dans le sourcil  Raphé palpébral latéral Entoure les canalicules lacrymaux et le sac lacrymal	Abaissement de la queue du sourcil et antagoniste du muscle frontal par la pars orbitalis (mouvement volontaire) Fermeture des paupières ; compression du sac lacrymal par la pars lacrimalis ;
<b>2. M. abaisseur du sourcil/depressor supercilii</b>	Os frontal, partie nasale	Peau du sourcil	Abaisseur de la tête du sourcil
<b>3. M. corrugateur de sourcil/corrugator</b>	Os frontal, partie nasale	Peau du sourcil	Attire caudalement et médialement la tête du sourcil ; détermine les rides glabellaires
<b>4. M. procerus</b>	Dos de la partie osseuse du nez	Peau de la glabelle	Abaisse la peau région glabellaire/création ride intersourcilière

Tableau I.1. : Muscles peauciers d'après Sobotta (Sobotta, 1994)  
NB: Seuls les muscles d'intérêt dans notre travail sont cités



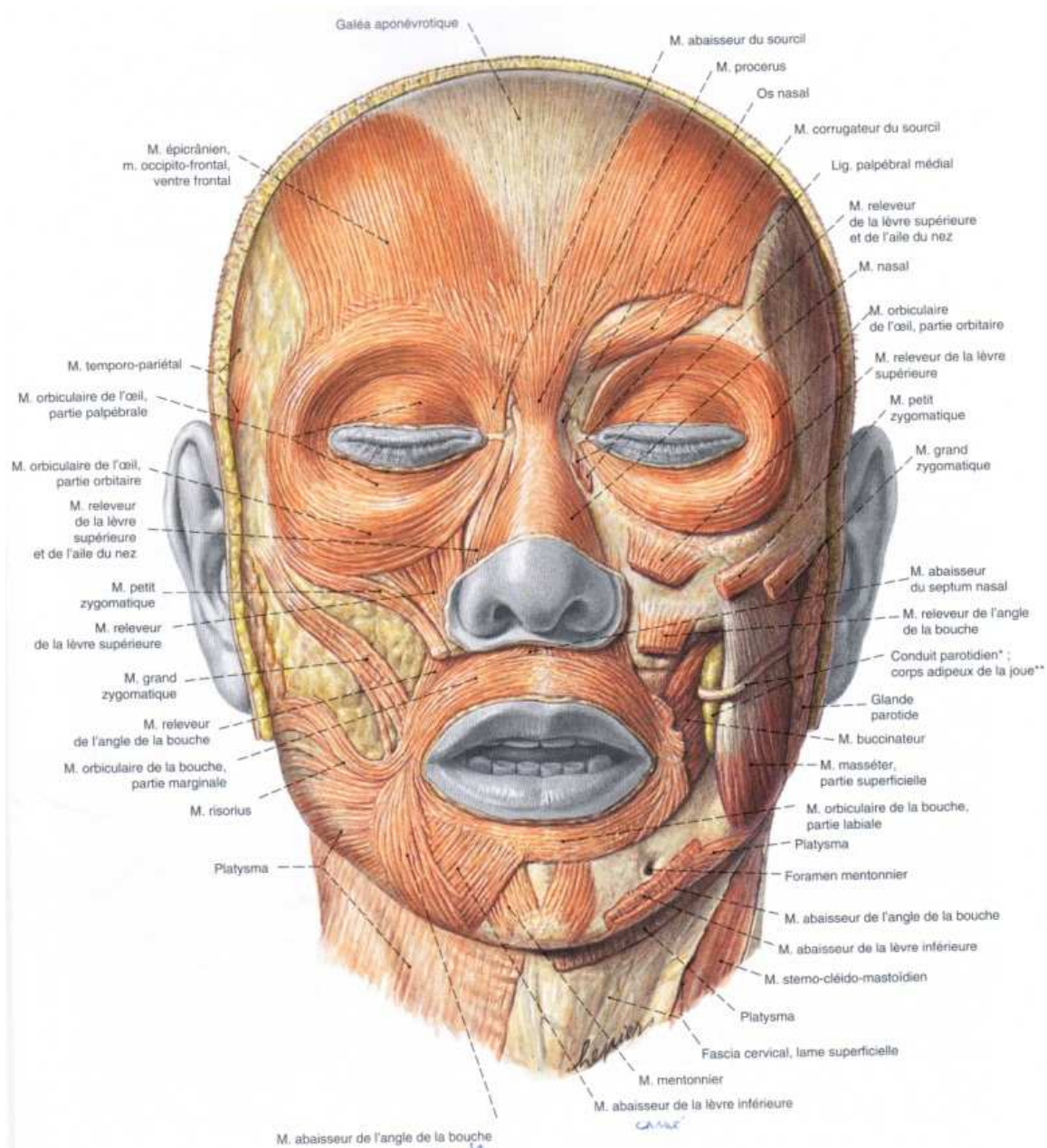


Figure I.23. : Représentation schématique des muscles peauciers selon Sobotta (Sobotta, 1994)

### I.1.3. Variations et Particularités anatomiques

*Comme nous l'avons dit en introduction du paragraphe précédent, il existe une grande variabilité inter et intra humaine au niveau des muscles peauciers, amenant toute description de l'anatomie in vivo à partir de planches anatomiques à être schématique. Cette partie collige les variations anatomiques les plus décrites.*

#### I.1.3.A. Variations anatomiques

##### I.1.3.A.a. Description de "Modèles" de musculature.

Pessa et al. décrivent 7 modèles de musculatures différentes (Fig.I.24) dont le plus fréquent (44%) comprend le muscle releveur de l'aile nasinaire, le muscle releveur de la lèvre supérieure et le muscle grand zygomatique unique, soit le type 1 (Pessa et al., 1998). Le muscle grand zygomatique est retrouvé bifide dans 34% des cas. Farahvash et al. retrouvent un muscle grand zygomatique bifide dans 19,23% des cas (Farahvash et al.,2010). De plus, ils constatent un modèle de musculature chez des sujets perses, non décrit par Pessa et al. (Pessa et al., 1998), comprenant un muscle grand zygomatique bifide, un muscle petit zygomatique absent et un muscle risorius présent. Le type le plus fréquent décrit est le type 3 (grand zygomatique unique, petit zygomatique présent, absence de risorius). Certains auteurs ont ajouté d'autres types à la classification de Pessa, ainsi Fabre décrit le modèle 3b avec un Zygomatikus Major, Zygomatikus minor Bifide et l'absence de muscle risorius (Fabre, 2004). Il met également en évidence l'importance de l'asymétrie faciale en retrouvant chez 7 sujets sur lesquels il a disséqué les 2 hémifaces une organisation asymétrique (Tableau I.2).

Type	Muscles	%
1	Zygomatikus Major simple Absence de risorius Zygomatikus minor	44
2	Zygomatikus major bifide Absence du Zygomatikus Minor risorius Absence du Risorius	18
3	Zygomatikus major simple Zygomatikus minor présent Absence de Risorius	18
4	Zygomatikus major bifide Zygomatikus minor présent Absence de risorius	NC
5	Zygomatikus major simple Absence du Zygomatikus minor Risorius présent	NC
6	Zygomatikus major simple Zygomatikus minor présent Risorius présent	NC
7	Zygomatikus major bifide Zygomatikus minor présent Risorius présent	NC



Figure I.24. :Classification de la répartition des muscles peauciers de la sangle des élévateurs selon Pessa (Pessa, 1998)



Hémiface droite / Type	Hémiface gauche/Type
4	1
4	3
5	3
7	7
4	2
4	1
7	2

Tableau I.2. : Comparaison chez 7 sujets entre hémiface droite et gauche selon les répartitions décrites à la figure I.24

### I.3.1.A.b. Variations constatées dans les descriptions anatomiques

Dans différents ouvrages, (Le Double, 1897 ; Testut, 1898, ;Poirier & Charpy, 1901, ; Rubin,1974 ;Letourneau, 1988 ; Garson, 2001 ; Fabre, 2004), des variations de descriptions ont pu être relevées pour les muscles :

- Frontalis : les principales variations sont la fusion des fibres médiales plus ou moins importantes, et quelques insertions osseuses au niveau de l'os frontal en regard de la glabellle, ou de l'arcade sourcilière.
- Orbicularis oculi : Le Double et Testut signalent des échanges de fibres avec le corrugator supercili, ainsi qu'avec le zygomaticus major, le zygomaticus minor, le levator labii superioris alaeque nasi. Ils stipulent la possibilité d'agénésie de la pars orbitalis.
- Corrugator supercili : il existe selon Testut des agénésies de ce muscle ou il peut fusionner avec l'orbicularis oculi.
- Procerus : en plus de l'action décrite communément (abaisseur des téguments dans la région glabelllaire et création d'une ride transversale dans l'espace intersourcilier), Letourneau stipule qu'il raccourcit le nez et dilate les narines. Il peut être absent. Poirier, Le Double décrivent une intrication possible avec le muscle levator labii superioris alaeque nasi.
- Zygomaticus major : En plus de la bifidité évoquée précédemment, Poirier et Rubin décrivent des interconnexions avec l'orbicularis oculi et également avec le muscle depressor anguli oris
- Zygomaticus minor : peut être également bifide. Très inconstant. Absent dans 22% des cas pour Le Double, 36% pour Pessa et al. Il peut naître de la pars orbitalis de l'orbicularis oculi.

### I.1.3.B. Fossette jugale

Plusieurs théories rendent compte de l'apparition d'une fossette jugale. Elle serait créée par une insertion dermique du faisceau caudal du muscle zygomaticus major quand il est bifide pour Pessa (Pessa et al., 1998) ou d'une insertion cutanée de fibres du risorius selon Poirier (Poirier & Charpy, 1901), qui l'appelle la "fossette du rire". Pour Paturet, c'est l'écart entre les muscles zygomatiques ou entre le risorius et le zygomaticus major qui crée la fossette.

### I.1.3.C Sillon nasogénien

Le sillon nasogénien unit le pied de l'aile narinaire au modiolus, il est dirigé en bas et en dehors, il est symétrique, paramédian et définit la limite joue-lèvre. On distingue plusieurs formes (Fig I.25) : droit, convexe ou concave dans un plan frontal (Rubin et al., 1989).

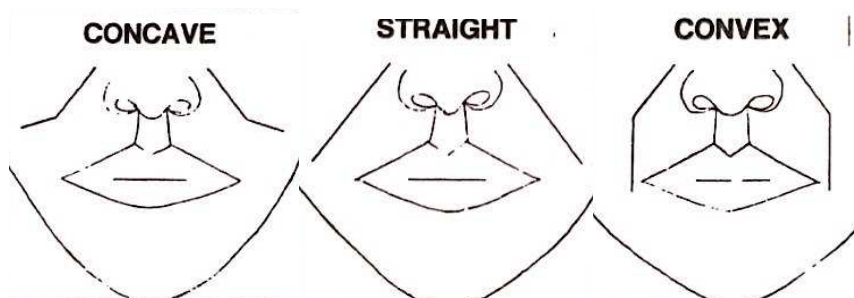


Figure I.25. : Différentes formes de sillon nasogénien (Zufferey et al., 1992).

La formation du sillon nasogénien naît de l'interférence entre les structures profondes dynamiques et les tissus mous sous jacents par l'intermédiaire des attaches sous dermiques. Il représente pour la plupart des auteurs la limite antérieure du SMAS (système musculo aponévrotique superficiel) et la frontière entre la masse jugale adipeuse et le tissu adipeux labial très fin. Le sillon nasogénien reçoit des expansions musculaires des releveurs labiaux à action directe et indirecte. Les muscles à action directe sont : les releveurs profond et superficiel de la lèvre supérieure et de l'aile du nez, le petit zygomatic ; à action indirecte : le grand zygomatic, le risorius, le canin, le buccinateur et muscle triangulaire des lèvres. Le sillon nasogénien se majore dans le temps avec le vieillissement cause d'une modification de la répartition des graisses. Selon Zufferey et al., il apparaît à 25 ans, et à 35 ans c'est une ride bien marquée avec des variations interindividuelles importantes (Zufferey et al., 1992).

Zufferey complète son analyse par des considérations fonctionnelles sur le sillon nasogénien. En effet comme le moindre mouvement de la lèvre résulte d'une combinaison d'actions musculaires, il simplifie le problème en considérant le sillon nasogénien comme 4 segments indépendants (2 médians et 2 latéraux). Le segment médial est déplacé grâce aux tractions des muscles ayant une action directe (tractions directes) et le segment latéral grâce aux actions des muscles ayant une action indirecte (tractions indirectes) (Fig I.26).

Pour cet auteur, il est important de considérer le degré d'inocclusion (intercuspidation) dentaire, de « gap » entre les deux arcades dentaires, lorsque les dents sont en contact, le mouvement des segments médiaux est maximal, mais l'activité du segment médial est peu affectée par l'ouverture buccale. A contrario, les segments latéraux sont estompés lors d'une « forte occlusion dentaire » et maximal lors d'une ouverture de 2 à 3 mm. Sous ces dernières conditions, lors du sourire le modiolus se déplace de 10 mm verticalement et de 10 mm en postérolatéral. A l'ouverture maximale (40 mm), les segments latéraux sont quasi immobiles. Le point de jonction entre les segments médial et latéral est important et peut être considéré comme une « articulation dont la forme du sillon nasolabial dépend ».

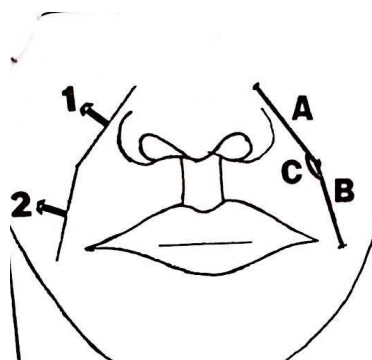


Figure I.26. : Analyse du sillon nasogénien  
(A : partie médiale du segment déplacé par les tractions directes, B partie latérale du mouvement déplacé par les tractions indirectes, C angle de l'articulation entre les segments medial et lateral) ( Zufferey et al., 1992).

### I.1.3.D. Classification de sourire.

Parmi les classifications courantes, nous citerons celles de Rubin et celle de Tjan.

#### I.1.3.D.a. Classification de Rubin (Rubin,1974).

Rubin a étudié l'anatomie du sourire sur 100 cas et classe les sourires en 3 catégories (Fig I.27) . Le sourire « Mona Lisa », commisural est le plus fréquent avec 67% des cas et comporte une élévation des commissures et un découverture des dents supérieures, avec dominance du grand zygomatique. Un sourire spontané provoque un mouvement maximal de la commissure soit 7 à 22 mm.

De même, le sens moyen du mouvement de la commissure est de 40° par rapport à l'horizontale (24 à 38°) (Phillips,1999)

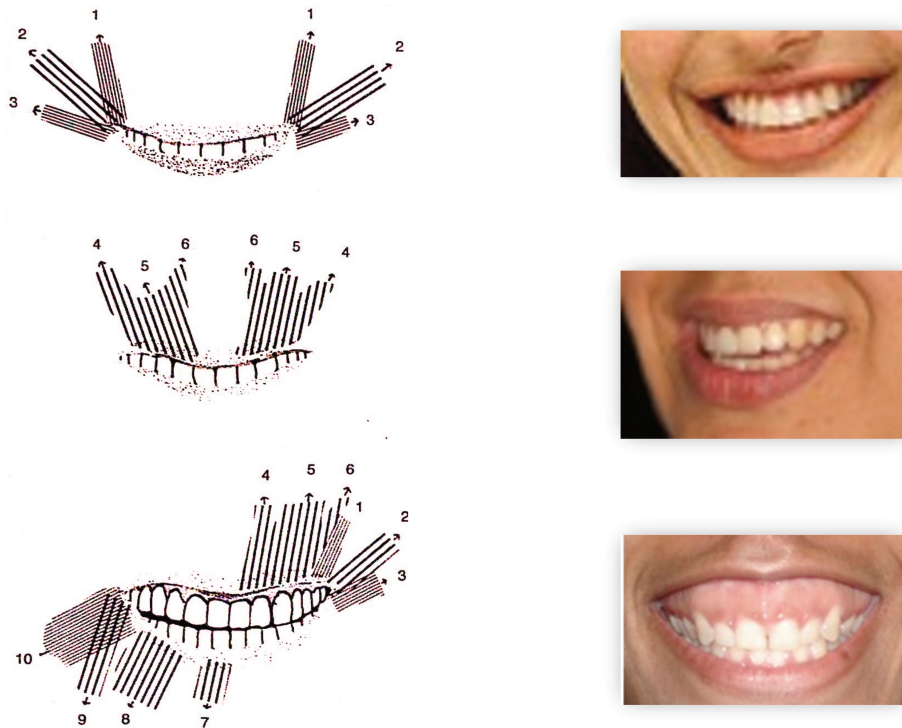


Figure I.27. : Classification des sourires selon RUBIN. 1 :sourire commissural, 2 sourire canin, 3. sourire gingival »  
 1.Levator anguli oris ; 2. Zygomaticus major ; 3. Fibres du buccinateur ;4. Levator labii superioris alaeque nasi ; 5-levator labii superioris ; 6-zygomaticus minor ; 7-mentalis ; 8-depressor labii inferioris ; 9-depressor anguli oris ; 10-risorius et fibres du buccinateur.

Le sourire « canin », qui représente 31% de la population, est lui marqué par la prédominance du releveur de la lèvre supérieure (qui est attribué par d'autres auteurs au muscle canin). Il s'agit d'un sourire en aile de mouette avec un déplacement vers le haut moins important des commissures par rapport à la portion labiale située au dessus des canines maxillaires (Phillips,1999).

Le sourire « gingival », représente lui 2% et découvre toute les dents, mobilisant l'ensemble des muscles péribuccaux (des muscles élévateurs de la lèvre supérieure mais aussi mobilisateurs de la lèvre inférieure comme le muscle depressor anguli oris –triangulaire). La principale caractéristique de ce sourire est la forte traction musculaire, le découvrement gingival et l'abaissement de la lèvre inférieure vers le bas laissant apparaitre les dents de l'arcade dentaire inférieure(Phillips,1999).

### I.1.3.D.b. Classification de Tjan (Tjan et al.1984)

Tjan et al. rapportent une classification basée sur la description de la hauteur de mobilisation de la lèvre supérieure. Ainsi ils décrivent : un sourire haut avec une bande continue de gencives qui est visible, un sourire moyen avec 75 à 100% des dents maxillaires visibles, et le découvrément de la papille entre les incisives supérieures mésiales et un sourire bas où moins de 75% des dents maxillaires sont visibles sur une hémiarcade. Cette dernière description est particulièrement utile pour classer les sourires asymétriques (i.e. ceux dont l'amplitude du mouvement n'est pas identique entre la commissure gauche et droite).

### I.1.3.E. Notion de points fixes ostéocutanés

Delmar distingue 4 points fixes (Fig I.28) (Delmar,1994). Il retrouve des adhérences ostéocutanées au niveau de l'arcade zygomatique en regard de l'insertion du muscle grand zygomatique, de la partie externe du cadre orbitaire par l'intermédiaire des muscles orbiculaires, des zones fixes massétériques sur le bord antérieur de la mandibule au-dessus du bord basilaire.

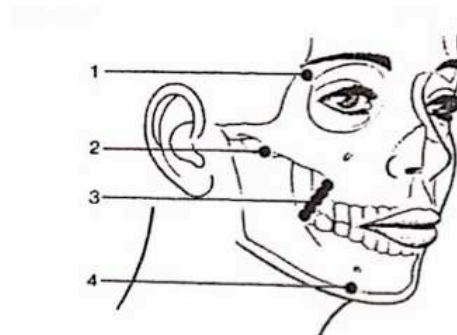


Figure I.28. : Points fixes de la face d'après Delmar.

1 :point fixe orbitaire ;2 point fixe zygomatique, 3 points fixes massétériques ; 4 point fixe mandibulaire

Furnas et al. (Furnas, et al.,1989) citent également 4 ligaments permettant une stabilisation de l'étui cutané et qui ont pour but de retenir les tissus de la face , ils considèrent les 2 premiers comme de véritables ligaments et les 2 autres comme des condensations de tissus conjonctifs .

- le ligament zygomatique qui s'insère sur le bord inférieur de la partie antérieure de l'arcade zygomatique en arrière du muscle grand zygomatique, il vient ensuite adhérer à la peau en avant du tragus et il est en rapport avec le rameau frontal moteur ;
- le ligament mandibulaire se situe environ à 1 cm au dessus du bord libre de la mandibule, au niveau du tiers antérieur de cette dernière. Sa présence se manifeste lors de la ptose de l'étui cutané facial en limitant la partie antérieure de la bas-joue ;

- le ligament auriculo-plastysmal unit le bord postérieur du platysma pour atteindre la région sous auriculaire. IL est en relation avec les branches du nerf grand auriculaire ;
- le ligament cutané-plastysmal qui relie le platysma à la peau de la partie médiane du visage

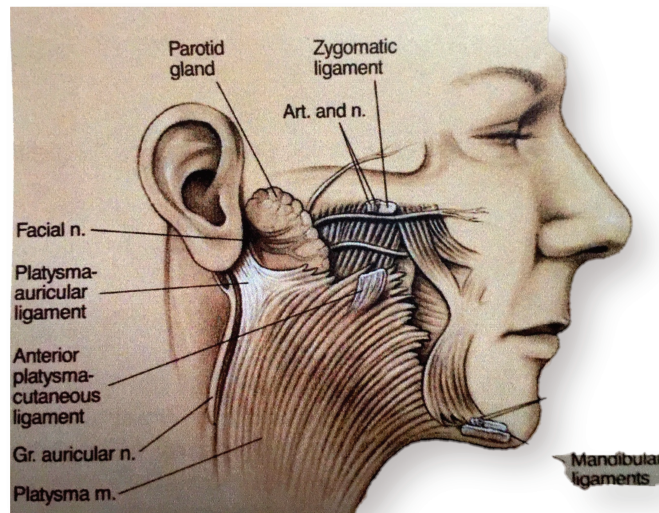


Figure I.29. : Points fixes de la joue d'après Furnas (Furnas et al., 1989)

Pour Frey (Frey et al, 1994), ce sont les points situés au niveau du tragus et de l'arête nasale qui peuvent être considérés comme des zones statiques. Ces conclusions avaient été établies à l'aide d'un faciomètre, instrument proche du compas permettant de mesurer les distances de manière manuelle entre différents points de la face établis au repos et en action sur des mouvements de la mimique faciale prédéterminés.

#### **I.1.4. Anatomie Fonctionnelle et Schématisation des Actions des muscles peauciers**

##### **I.1.4.A. Notion d' actions directes et indirectes sur le sillon nasogénien**

Pour Zufferey (Zufferey et al., 1992) qui cite (Williams et al., 1989) il y a deux catégories de musculature faciale responsables d'actions directes et indirectes. Les actions directes sans intervention du modiolus sont produites par le releveur supérieure de la lèvre et de l'aile du nez (levator labii superioris alaeque nasi et superioris labii), le petit zygomatique (zygomaticus minor). Les actions indirectes sont générées par la contraction du grand zygomatique, du canin, du buccinateur, du risorius, du muscle triangulaire et d'une partie du platysma et font intervenir le modiolus.



Le modiolus est une entité qui n'est pas bien connue. C'est une entité fibromusculaire qui forme une masse dense, mobile et compacte. Il est composé des fibres terminales des muscles responsables des tractions indirectes (convergeants en son centre) et des muscles de l'orbiculaire des lèvres (divergents de son centre)

### I.1.4.B. Exemple de Schématisation des actions musculaires

Les actions musculaires des muscles peauciers sont résumées dans différents schémas d'ouvrages et de travaux anatomiques . Nous avons choisi de présenter celui de Kamina (Fig I.30) (Kamina,2006) et de Fabre (Fabre,2004):

#### I.1.4.B.a. Schématisation des actions musculaires d'après Kamina

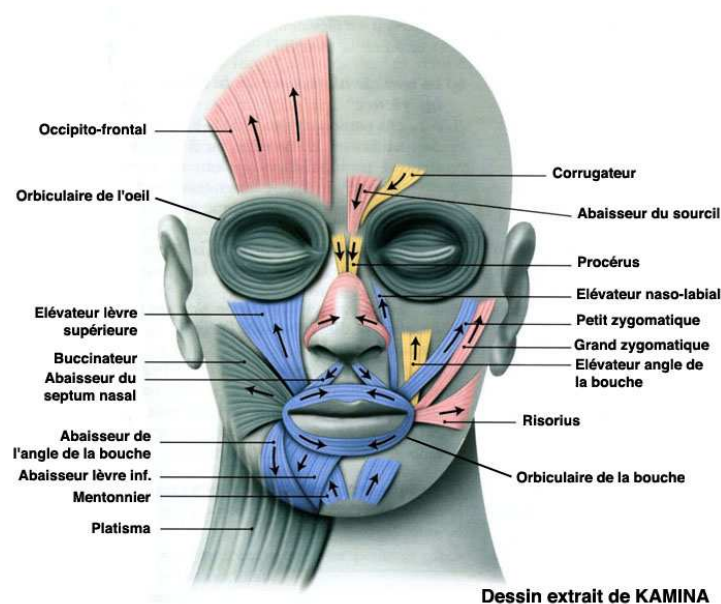


Figure I.30. : Schématisation des actions musculaires d'après Kamina (Kamina,2006)

#### I.1.4.B.b. Schématisation des actions musculaires d'après Fabre

G.Fabre propose un schéma de synthèse des résultats obtenus qui transpose au niveau cutané la musculature faciale étudiée (Fig I.31). Les flèches représentent les muscles avec leurs positions et leurs directions d'actions » lorsqu'ils sont en action (contraction musculaire). Leur largeur est proportionnelle à la largeur moyenne du muscle concerné. Il constate que la balance musculaire oppose des muscles péri-buccaux craniaux nombreux et étroits, à une musculature péri-buccale caudale constituée de muscles plus larges et moins nombreux.



Figure I.31. : Schématisation des muscles peauciers selon Fabre, largeur des flèches proportionnelle à la largeur moyenne des muscles concernés.

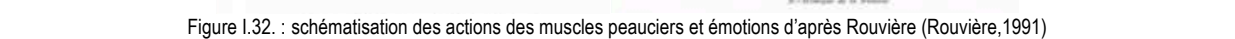
Fabre avance dans sa thèse que la variabilité de longueur et de volume des muscles faciaux dépendrait de leur usage (i.e expressions faciales répétées par exemple, fonction). Il cite les travaux de Isley (Isley et al., 1973) qui a enregistré des mesures électromyographiques au niveau des muscles péribuccaux et du plastysma lors de différentes mimiques et chez le joueur de trompette en 1973. Dans ce travail, les résultats montrent que les séquences de contraction et l'intensité de celles-ci sont variables entre les différents sujets. Le renforcement musculaire lié à la répétition d'une expression serait donc différent entre 2 sujets et le ou les muscles entraînés pourraient influencer à leur tour sur l'expression faciale.

### **I.1.5. Muscles peauciers et émotions.**

L'étude de la mimique n'est pas récente. De tous temps, la tentation a été grande d'interpréter action musculaire peaucière et émotion, et plis et rides de la face à travers la physiognomonie. En effet, s'il est aisé de comprendre la mobilisation de deux os long l'un par rapport à l'autre d'un membre par l'action d'une contraction d'un muscle tendu entre ses 2 entités, il est plus difficile de décrire précisément celle de muscles dont les terminaisons sont cutanées.



Tableau n.º 1 : muscles producteurs et leurs actions en rapport avec une émotion selon Duchenne de Boulogne



Ermiane est l'un des fondateurs de la prosopologie, que l'on peut étymologiquement traduire par « étude du visage ». Il s'agit d'une discipline qui visait à travers la description des traits du visage en action, de définir le caractère psychologique d'une personne. La prosopologie n'a fait l'objet d'aucune validation scientifique mais propose la première classification taxinomique des expressions du visage par le relevé des mouvements musculaires (Ermiane, 1949), avant Ekman (Ekman, 1978) qui popularisera ensuite la sienne à travers le FACS (facial action coding system) .

## I.1.6. Morphométrie des muscles peauciers.

### I.1.6.A. Résultats des travaux G.Fabre

G.Fabre donne des résultats morphométriques à partir de ses 17 dissections. Ils sont présentés ci-dessous sous forme de tableaux (Tableau I.4 à I.14).

#### ❖ Muscle Frontal (Frontalis)

	Longueur(mm)	Largeur(mm)
moyenne	74,1	45,4
min	60	24
max	90	78
Ecart -type	14,1	15

Tableau I.4. : morphométrie longueur et largeur du muscle frontal

#### ❖ Muscle Orbiculaire Palpébral (Orbicularis oculi)

	Largeur (mm)
Moyenne	33,1
Min	24
Max	39
Ecart-type	5,4

Tableau I.5. : morphométrie (largeur) du muscle orbiculaire palpébral

#### ❖ Corrugateur du sourcil, sourciler (corrugator supercilii)

	Longueur	Largeur
Moyenne	33	9,2
Min	25	8
Max	47	11
Ecart -type	8,3	1,3

Tableau I.6. : morphométrie longueur et largeur corrugateur

#### ❖ Muscle canin, Levator anguli oris

	Longueur	Largeur
Moyenne	38,3	7,3
Min	66	3
Max	82	12
Ecart-type	4,8	2,8

Tableau I.7. : morphométrie longueur et largeur du muscle canin

❖ Carré du menton, Depressor labii inferioris

	Longueur	Largeur
Moyenne	39,4	15
Min	30	9
Max	45	26
Ecart-type	4,8	4,4

Tableau I.8. : morphométrie longueur et largeur du muscle carré du menton

❖ Houppes, mentalis

	Longueur	Largeur
Moyenne	20,2	7,4
Min	18	4
Max	22	9
Ecart-type	1,6	2,2

Tableau I.9. : morphométrie longueur et largeur du muscle de la houppes

❖ Muscle grand zygomatique (zygomaticus major)

	Longueur	Largeur	Angle
Moyenne	61,1	7,9	41,3
Min	53	5	26
Max	70	15	54
Ecart-type	4,4	2,7	8,8

Tableau I.10. : morphométrie longueur et largeur du muscle grand zygomatique

❖ Muscle petit zygomatique (zygomaticus minor)

	Longueur	Largeur
Moyenne	34,4	3,1
Min	15	2
Max	62	5
Ecart-type	15,5	1,4

Tableau I.11. : morphométrie longueur et largeur du muscle petit zygomatique

❖ Muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez (levator labii superioris alaeque nasi)

	Longueur	Largeur
Moyenne	55,7	6,6
Min	39	4
Max	72	12
Ecart-type	4,8	4,4

Tableau I.12. : morphométrie longueur et largeur du muscle releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez

❖ Muscle releveur de la lèvre supérieure (muscle levator labii superioris)

	Longueur	Largeur
Moyenne	38,9	11,3
Min	23	6
Max	51	20
Ecart-type	9	3,3

Tableau I.13. : morphométrie longueur et largeur du muscle releveur de la lèvre supérieure

❖ Muscle triangulaire des lèvres, depressor anguli oris

	Longueur	Largeur
Moyenne	50,6	34,3
Min	41	20
Max	58	45
Ecart-type	9	7

Tableau I.14. : morphométrie longueur et largeur du muscle triangulaire

## **I.1.6.B. Travaux de dissection de muscles élévateurs de la lèvre.**

### **I.1.6.B.a. Matériel et methode**

Nous avons disséqué 2 sujets soit 4 hémifaces, le sex ratio était de 1. Un sujet a bénéficié d'une injection de latex et de colorant (avec accélérateur) juste avant la dissection. Pour le 1<sup>er</sup> sujet nous n'avons effectué que l'injection au niveau artériel. Les injections étaient effectuées en réplétion, à partir de l'axe carotidien, à l'aide d'un canule et d'une seringue et après rinçage à l'eau tiède.

Une incision coronale au niveau de la ligne d'implantation du cuir chevelu rejoignant les oreilles est prolongée en pré et rétro auriculaire comme une incision de lifting. A partir de la région mastoïdienne l'incision passe par la région cervicale en sous mandibulaire bas jusqu'à la zone médiane pour rejoindre l'incision controlatérale. Le tissu cutané a été relevé au bistouri froid lame 15 de latéral en médial en respectant le plan sous-cutané (Fig. I.33) . L'abord des muscles est réalisé en pratiquant l'ablation du tissu sous cutané, chaque muscle étant individualisé grâce à l'ablation du tissu cellulaire graisseux.

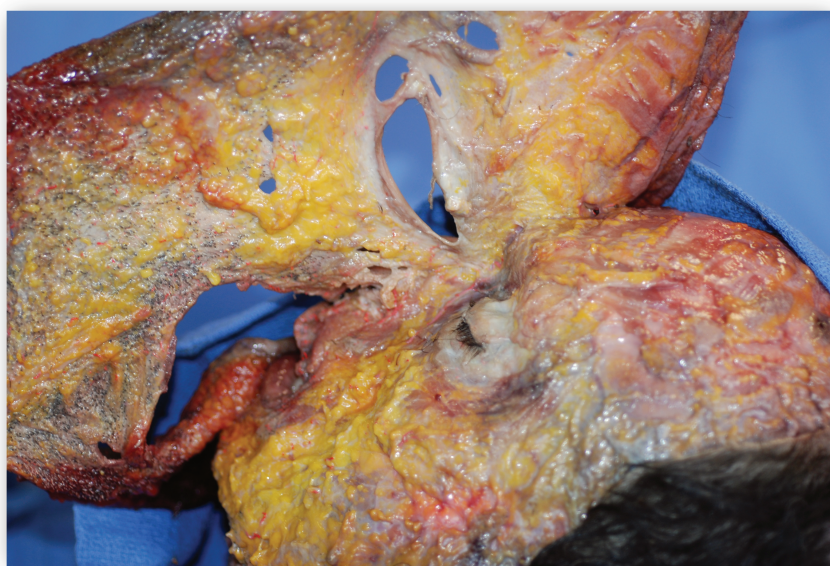


Figure I. 33. : Levée du tissu cutané lors de la dissection

Nous avons ensuite individualisé les muscles un par un afin de mettre en évidence leurs rapports ainsi que d'effectuer leur mesure. Les mesures sont prises à l'aide d'un pied à coulisse 2 à 4 fois. Des photographies ont été prises.

### **I.1.6.B.b. Résultats**

Nous nous sommes particulièrement intéressée à l'anatomie de la région génienne et péri-buccale, notamment à l'analyse morphologique des muscles élévateurs des lèvres. Nous avons

focalisé arbitrairement la présentation de nos résultats sur la sangle des élévateurs, pour leur rôle dans l'étirement des commissures et donc dans le sourire. Nous avons étudié en premier lieu l'aspect macroscopique des muscles, leur présence, leur position, leur forme, leurs rapports anatomiques. Puis nous avons effectué des mesures de ces différents muscles afin de pouvoir faire une analyse comparative aux valeurs rapportées dans la littérature (Tableau I.15). L'étude de leur variabilité et de leur morphométrie permettra notamment de mieux les étudier en IRM.

Dans nos dissections, le zygomaticus minor était absent. Un muscle risorius a été retrouvé de façon symétrique chez un sujet (Fig.I.37). Le zygomaticus major, muscle grand zygomatique est présent, sans bifidité, bilatéral et symétrique. Dans 3 des hémifaces, le rapport profond des vaisseaux faciaux, artère et veine est observé. Cependant pour l'une des hémifaces, l'artère faciale passe au dessus du zygomaticus major (Fig I.34). Le levator labii superioris alaeque nasi (muscle releveur de la lèvre et de l'aile du nez) (Fig I.35), levator labii superioris (muscle releveur de lèvre supérieure) (Fig I.35)., levator anguli oris (muscle canin) sont présents de façon bilatérale (Fig I.36).



Figure I.34. : Photographies du rapport entre les vaisseaux faciaux et le muscle zygomaticus major.  
A droite : passage de l'artère faciale à la face profonde du muscle grand zygomatique,  
A gauche : passage de l'artère faciale au dessus du muscle grand zygomatique.

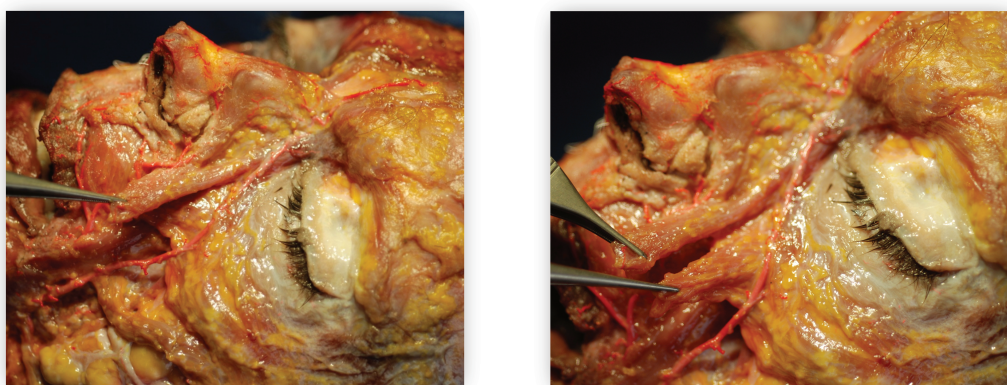


Figure I.35. : Photographie du muscle levator labii superioris alaeque nasi gauche, terminaison du muscle présenté dans la pince. photographie du muscle levator labii superioris gauche, terminaison du muscle présenté dans la pince inférieure.



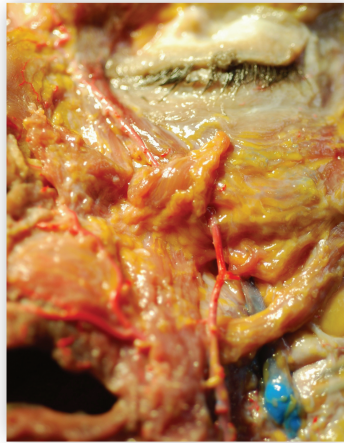


Figure I.36. : Photographies muscle levator anguli oris gauche.  
Les fibres du muscle releveur de la lèvre superficielle ayant été relevées



Figure I.37. : Photographie du muscle risorius gauche, terminaison du muscle présenté dans la pince inférieure

Muscle	Longueur (mm)			Largeur (mm) (à l'insertion)		
	Dissection	Fabre	Littérature (Pessa, Faravash)	Dissection	Fabre	Littérature (Pessa, Faravash)
Releveur de la lèvre supérieure	39	55	33-47			
Releveur superficiel de la lèvre et de l'aile du nez	35	55	61-62	6	6	7-8
Canin	35	38	40	16	7	12-15
Grand zygomatique	58	61	65-70	11	8	7-10
Risorius	40	51		4	2	3-5

Tableau I.15. : comparaison des mesures de longueur et de largeur de nos dissections et de celles de la littérature (Fabre, 2004, Pessa et al., 1998, Pessa et al., 1998, Faravash et al., 2010)

### I.1.6.B.c. Limites

Ces dissections ont été menées sur sujet cadavérique. La qualité du tissu musculaire n'est donc pas identique à celle observée in vivo. De plus, les mesures ont été relevées à l'aide d'un pied à coulisse et ne sont pas tridimensionnelles. L'âge des sujets était de plus supérieur à 70 ans.

### I.1.7. Conclusion

La mimique est une combinaison de contractions et d'étirement de muscles striés squelettiques, muscles peauciers qui ont pour particularités leurs insertions cutanées. Cette spécificité entraîne lors de leurs actions des déformations de la surface cutanée faciale.

D'après les connaissances anatomiques, il existe une reproductibilité des mouvements de la mimique faciale, et d'expressions liée à la mise en jeu et à l'action dominante de certains muscles peauciers. Cependant, il n'existe pas de modèle constant précis et aucune action de la mimique ne peut être résumée à un muscle isolé. Ainsi par exemple, la contraction du muscle grand zygomatique étire les commissures, celle du muscle petit zygomatique étant mise en relation avec un étirement plus modéré. Pourtant de nombreux auteurs ont souligné la grande variabilité anatomique inter et intra-individuelle des muscles peauciers (grand zygomatique bifide, absence de risorius, de petit zygomatique). A partir de dissections anatomiques, l'absence de muscle petit zygomatique est évaluée autour de 50% ( 64% pour Pessa et al.; 40,4% pour Faravash et al.). En situation saine, la réalisation de la gestuelle attribuée à ce muscle n'est donc pas garante de son existence anatomique. Cependant, en situation pathologique, c'est sur ce type de gestuelle que se base l'évaluation.

Pour une meilleure compréhension et évaluation de la mimique, il semble donc nécessaire d'avoir accès in vivo aux déformations musculaires en même temps que cutanées pour pouvoir obtenir une corrélation plus exacte et individuelle. Nous l'avons remarqué lors du suivi de la récupération motrice de l'allotransplant facial nez-menton-lèvre et pour les patients atteints de séquelles de paralysie faciale. De cette problématique est né le projet SIMOVI (Simulation des mouvements du Visage, utilisant les équipements de l'EQUIPEX-Figures) , qui cherche les possibilités d'évaluer objectivement la mimique et la mobilité des muscles peauciers, dont cette thèse fait partie. Celle-ci se concentre sur les moyens de caractériser la mimique faciale aujourd'hui à partir d'une analyse externe, et de caractériser les mouvements des muscles peauciers à partir de technique d'imagerie (IRM) afin d'avoir accès aux déformations in vivo.

***Dans les chapitres suivants, un état de l'art sur la caractérisation externe et interne est réalisé, avant d'identifier et de sélectionner les mouvements de la mimique qui seront étudiés (Chapitre II) et de présenter nos propres résultats de caractérisation externe (Chapitre III) et interne (Chapitre IV) de ces mouvements.***

## I.2. ETAT DE L'ART : CARACTERISATION EXTERNE DE LA MIMIQUE FACIALE

### I.2.1. Analyse externe et clinique

#### I.2.1.A. Multiplicité des expressions faciales

Ermiane a étudié le jeu des expressions faciales et des contractions musculaires. Il explique qu'il existe 29 muscles peauciers symétriques, d'où 145000 milliards de combinaisons théoriques : 250 ont été étudiées (Ermiane, 1949). Même si le but recherché par cet auteur est de définir la correspondance entre les muscles de la face de l'individu, et leurs significations psychologiques, étude qu'il nomme prosopologie, ce qui est loin de cette thèse, il est remarquable de noter qu'il se base sur des connaissances anatomiques documentées (Fig I.38). Une étude de la mimique est donc nécessairement sélective parmi la multitude de mouvements faciaux possibles. Les testings musculaires utilisés en clinique sont un exemple de cette sélectivité.



Figure I.38. : schéma d'étude anatomique d'ermiane (Ermiane, 1949)

#### I.2.1.B. FACS (Facial action coding system)

Au début des années 70, Ekman propose avec Friesen les bases du codage de l'activité faciale qu'ils intitulent FACS (Facial Action Coding System), strictement basées sur l'analyse du substrat anatomique des mouvements faciaux (Ekman, 1978). L'**AU** est l'« Action Unit » ou l'activité musculaire qui entraîne un changement momentané d'apparence faciale (Fig I.39). Chaque AU est expliquée dans le FACS selon 3 sections : A. Changement d'apparence, B. Comment réaliser l'AU, C. Intensité du score pour l'AU.



La cotation de l'intensité est décrite de façon très précise: A :Trace ; B :Slight ; C :Marked ; D :pronounced ; S :Severe ; E :extreme ; M :Maximum. Le nombre d'AU est de 46 sans prendre en compte les AU combinées et les AD (actions descriptives).

La notion de concurrence est également décrite et définit des actions qui sont réalisées en même temps que d'autres, sachant qu'une action dominante peut en cacher une autre. Si l'action est unilatérale, elle est notée L pour gauche et R pour droite. Il décrit également si l'action est asymétrique en notant A. Pour le mouvement palpébral, il apporte une notion de temps : ainsi pour l'abaissement de la paupière, si celui-ci est inférieur à 0,5 s c'est un blink ( clignement réflexe ), si il est inférieur à 2s c'est un clin d'oeil volontaire (wink) et si il est supérieur à > 2s il s'agit d'une fermeture volontaire des paupières sans forcer .






















AU	Description	Facial muscle	Example image	AU	Description	Facial muscle	Example image
1	Inner Brow Raiser	Frontalis, pars medialis		13	Cheek Puffer	Levator anguli oris (a.k.a. Caninus)	
2	Outer Brow Raiser	Frontalis, pars lateralis		14	Dimpler	Buccinator	
4	Brow Lowerer	Corrugator supercilii, Depressor supercilii		15	Lip Corner Depressor	Depressor anguli oris (a.k.a. Triangularis)	
5	Upper Lid Raiser	Levator palpebrae superioris		16	Lower Lip Depressor	Depressor labii inferioris	
6	Cheek Raiser	Orbicularis oculi, pars orbitalis		17	Chin Raiser	Mentalis	
7	Lid Tightener	Orbicularis oculi, pars palpebralis		18	Lip Puckerer	Incisivii labii superioris and Incisivii labii inferioris	
9	Nose Wrinkler	Levator labii superioris alaeque nasi		20	Lip stretcher	Risorius with platysma	
10	Upper Lip Raiser	Levator labii superioris		22	Lip Funneler	Orbicularis oris	
11	Nasolabial Deepener	Zygomaticus minor		23	Lip Tightener	Orbicularis oris	
12	Lip Corner Puller	Zygomaticus major		24	Lip Pressor	Orbicularis oris	
				25	Lips parted	Depressor labii inferioris or relaxation of Mentalis, or	

Figure I.39. : exemple d'Action Unit codé dans le FACS. ( Ekman et al., 1978)

Si ce codage est surtout utilisé aujourd'hui pour interpréter les émotions (Ekman, 1990), comme outil d'évaluation de l'état psychologique (Hamm et al., 2011) (Fig I.42), de la communication non verbale dans l'évaluation de la douleur par exemple (Rojo et al, 2014) il n'a pas été développé initialement dans ce but. L'objectif initial était de créer un "langage universel" permettant de décrire les

mouvements de la mimique faciale et surtout de pouvoir comparer les recherches entre-elles. Dans leur article princeps « Measuring Facial Movement » (Ekman, 1976), Paul Ekman et Wallace V. Friesen partent du constat que la plupart des recherches sur le comportement facial ont des difficultés à décrire la face elle-même, et les résultats s'avèrent plutôt être des déductions d'interprétations des observateurs. Ainsi au milieu des années 1970, ils opposent 2 types d'approches : les interprétations observationnelles et les « mesures » faciales. Ils donnent la base de leur nouveau code à partir de leurs connaissances anatomiques, en associant une AU à l'action d'un muscle peaucier dominant. Pour exemple et afin d'illustrer leurs propos sur la nécessité de trouver une sémiologie commune interdisciplinaire, ces auteurs affirment que pour répondre à la question : « les mouvements de la mimique faciale sont-ils interprétés de la même façon et apparaissent-ils dans les mêmes situations dans toutes les cultures », il faudrait attribuer une cotation précise à ces mimiques afin de les analyser en situation quelle que soit la culture.

Récemment des automatisations du FACS ont été développées (Fig I.40) et appliquées sur des patients dans une étude pilote dans un but d'évaluation neuro-psychiatrique (évaluation des mimiques chez le psychotique schizophrène) (Hamm et al, 2011), mais elles nécessitent une connaissance initiale approfondie du codage.

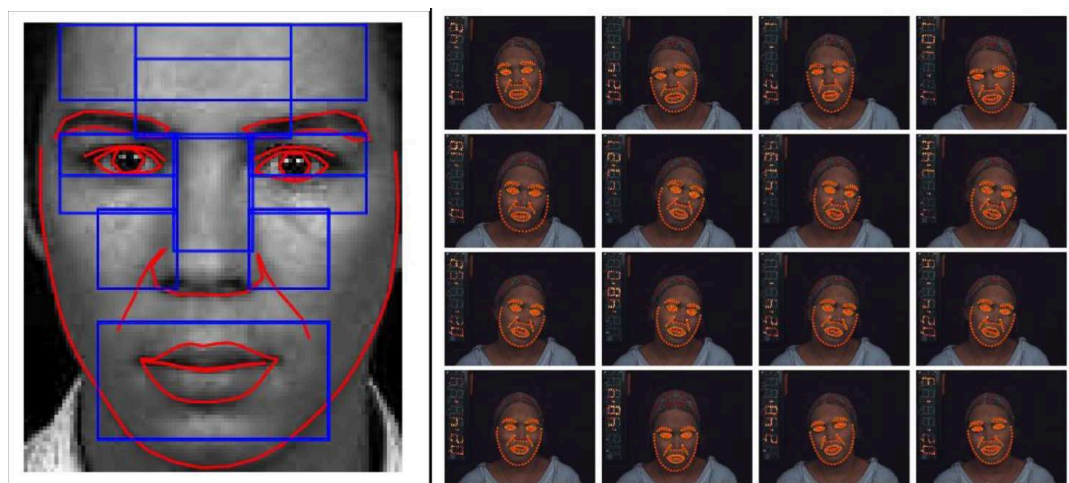


Figure I.40. : région d'intérêt pour extraire les caractéristiques du visage (à gauche) exemple de tracking de points repères de la face (159)(à droite)  
(Hamm et al., 2011)

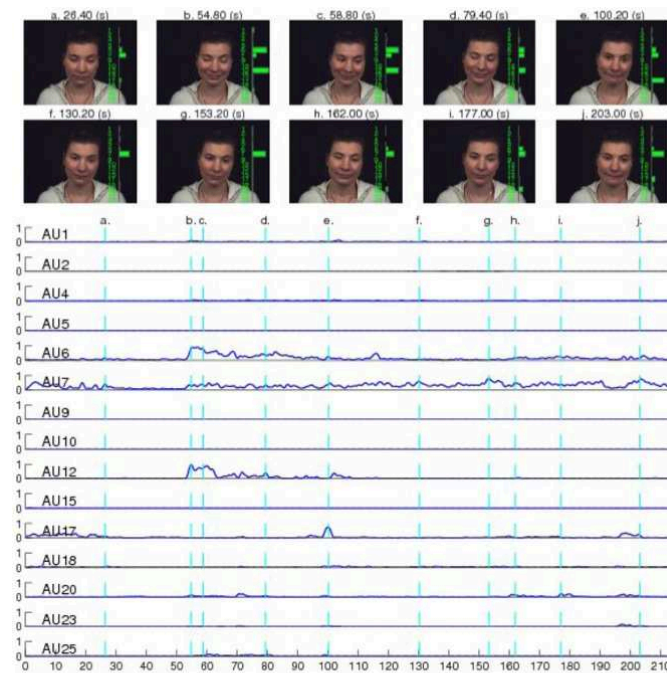


Figure I.41. : profil d'AU chez un patient angoissé. Apparition AU6 et 7 innaproprié

Il est remarquable que les développements récents cherchent à analyser les émotions, et qu'aucun auteur n'ait proposé un développement visant à analyser la récupération motrice de la mimique avec ce code.

### I.2.1.C. Echelles de Cotation et testings musculaires.

#### I.2.1.C.a. Echelles de cotation

L'analyse clinique de la mimique faciale est réalisée le plus souvent en situation déficitaire. Les testings et échelles de cotation sont pratiqués en routine afin de suivre la gravité du déficit. La situation pathologique la plus démonstrative est sans nul doute la paralysie faciale (Fig I.42). Les principaux signes cliniques représentatifs sont :

- à l'étage supérieur l'effacement des rides du front, l'innocclusion palpébrale, et l'impossibilité d'élever le sourcil,
- à l'étage inférieur l'effacement du sillon nasogénien, la chute et l'impossibilité d'élever la commissure labiale.



Figure I.42. : exemple de patient atteinte de paralysie faciale

En fonction de la gravité de l'atteinte, ces principaux signes sont plus ou moins perceptibles. Des scores basés sur l'examen clinique de la face ont été publiés afin d'évaluer ces déficits musculaires faciaux en situation pathologique clinique. Il existe plus d'une trentaine d'échelles de mesures, dites globales (l'ensemble de la face est analysée) ; locales( la face est décomposée en plusieurs zones, et ce sont ces zones qui sont évaluées) ; objectives ( utilisant une méthode de mesures) ; informatisées (Gatignol, 2011).

Ainsi, le score de House (House, 1983) (Tableau I.16) très utilisé est une échelle globale qui permet de graduer la paralysie faciale du patient d'une fonction normale cotée I à la paralysie faciale totale coté VI (paralysie faciale totale).

Grade	Characteristics
I. Normal	Normal facial function in all areas
II. Mild dysfunction	<p>Gross</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Slight weakness noticeable on close inspection</li> <li>May have slight synkinesis</li> <li>At rest, normal symmetry and tone</li> </ul> <p>Motion</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Forehead - Moderate-to-good function</li> <li>Eye - Complete closure with minimal effort</li> <li>Mouth - Slight asymmetry</li> </ul>
III. Moderate dysfunction	<p>Gross</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Obvious but not disfiguring difference between the two sides</li> <li>Noticeable but not severe synkinesis, contracture, or hemifacial spasm</li> <li>At rest, normal symmetry and tone</li> </ul> <p>Motion</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Forehead - Slight-to-moderate movement</li> <li>Eye - Complete closure with effort</li> <li>Mouth - Slightly weak with maximum effort</li> </ul>
IV. Moderately severe dysfunction	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gross, Obvious weakness and/or disfiguring asymmetry</li> <li>At rest, normal symmetry and tone</li> <li>Motion</li> </ul>

Tableau I.16. : Score de House pour l'évaluation des paralysies facials

D'autres échelles globales avaient été élaborées sur le même principe (Botman & Jongkees, 1955 ; May et al., 1981 ; Peitersen, 1982 ; Lazarini et al, 2006).

Des échelles régionales (Tableau I.17)(Adour & Swanson, 1971; Yanagihara ; 1977, Rickenmann et al.,1997) segmentent la face en plusieurs zones, et attribuent une cotation correspondant au pourcentage constaté de fonction de la région considérée par l'observateur (0 : pas de fonction sur la zone considérée, I : 0 à 25% de la fonction, II : 25 à 50%, III : 50 à 75%, IV : 75 à 100%). La moyenne de chacune des cotations sur toutes zones constitue le score globale.

Facial Paralysis Recovery Profile (FPRP) and Facial Paralysis Recovery Index (FPRI). <sup>7</sup>					
Site	FPRP: * Points Awarded for Each Unit of Recovery				
	0	0%–25%	26%–50%	51%–75%	76%–100%
Forehead	0	+1	+1	+2	+2
Eye	0	+1	+2	+3	+4
Mouth	0	+1	+2	+3	+4

Tableau I.17. : Facial Paralysis Recovery Profile d'après (Adour & Swanson, 1971)

L'échelle de Sunnybrook (Fig I.43) développée par Ross et al. (Ross et al.) est un peu plus détaillée pour permettre l'évaluation d'une récupération et précise la présence de syncinésies.

Sunnybrook Facial Grading System									
Resting Symmetry		Symmetry of Voluntary Movement					Synkinesis		
Compared to normal side		Degree of muscle EXCURSION compared to normal side					Rate the degree of INVOLUNTARY MUSCLE CONTRACTION associated with each expression		
Eye (choose one only)		Unable to initiate movement/no movement Initiates slight movement Initiates movement with mild excursion Movement almost complete Movement complete					NONE: No synkinesis or mass movement MILD: Slight synkinesis MODERATE: Obvious but not disfiguring synkinesis SEVERE: Disfiguring synkinesis; Gross mass movement of several muscles		
normal	0								
narrow	1								
wide	1								
eyelid surgery	1								
Cheek (naso-labial fold)									
normal	0								
absent	2								
less pronounced	1								
more pronounced	1								
Mouth									
normal	0								
corner dropped	1								
corner pulled up/out	1								
Total	<input type="checkbox"/>								
Resting symmetry score	Total X 5								
Patient's name									
Dx									
Date									
		Gross Asymmetry Severe Asymmetry Moderate Asymmetry Mild Asymmetry Normal Symmetry							
		Total <input type="checkbox"/>							
		Voluntary movement score: Total X 4 <input type="checkbox"/>					Synkinesis score: Total <input type="checkbox"/>		
		Vol mov't score <input type="checkbox"/> - Resting symmetry score <input type="checkbox"/> - Synk score <input type="checkbox"/> = Composite score <input type="checkbox"/>							

Ross, Fradet, Nedzelski 1992

Figure I.43. : Echelle de Sunnybrook

Mais ces cotations, basées sur des grades séquentiels même appuyées sur des éléments cliniques restent arbitraires et soumises aux variations d'une analyse subjective, avec des scores qui peuvent être « examinateurs – dépendants ». (Burres & Fisch,1986; Coulson et al.,1999 ;Croxson et al. 1990)

### I.2.1.C.b. Testings musculaires

En rééducation, afin de suivre les progrès des patients, ces testings manuels sont utilisés afin de qualifier l'efficacité de la contraction musculaire de 0 à 5 ( 0 : absence de contraction musculaire, 1 : contraction palpable sans mouvement, 2 : mouvement soustrait à la gravité,3 : contraction contre la gravité, 4 : contraction contre résistance, 5 :force normale identique au coté sain). Cette dernière cotation n'est pas très adaptée aux muscles peauciers, mais plutôt pour les muscles du tronc et des membres, en effet il n'y a sous l'action des muscles peauciers aucun déplacement de segment osseux.

Certains auteurs ont développés des testings dédiés aux muscles peauciers (Chevalier & Lacôte, 1996 ; Chevalier, 1990). Ainsi une cotation est attribuée selon le tableau I.18 après avoir demandé au patient de réaliser un mouvement de mimique faciale qui met en jeu de façon prédominante le muscle testé (Fig I.44, Fig I.45). L'examen est visuel et palpatoire.



<b>0</b>	absence de contraction
<b>1</b>	traces de contraction
<b>2</b>	amorce de mouvement (possible 5 fois)
<b>3</b>	mouvement net avec signes de force (rides-sillon)
<b>4</b>	mouvement net avec signes de force importants dans toute l'amplitude

Tableau I.18. : Cotation évaluée dans le testing des muscles peauciers (Chevalier & Lacôte, 1996)

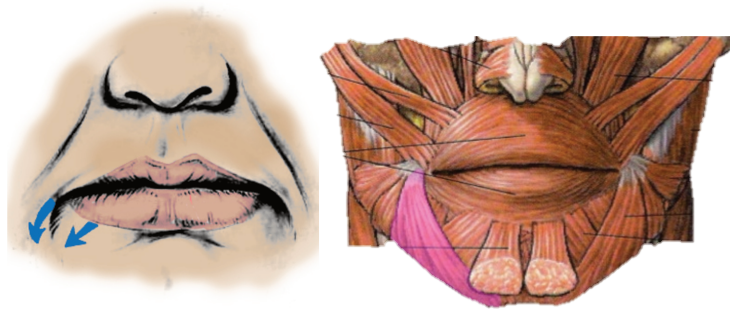


Figure I.44. :exemple de mouvement demandé au patient : étirement des commissures vers le bas (à droite) et correspondance avec l'action du depressor anguli oris qui sera cotée (à gauche).



Figure I.45. exemple de mouvement demandé au patient : mouvement du baiser ( à droite) et correspondance avec l'action de l'orbicularis oris qui sera cotée ( à gauche)

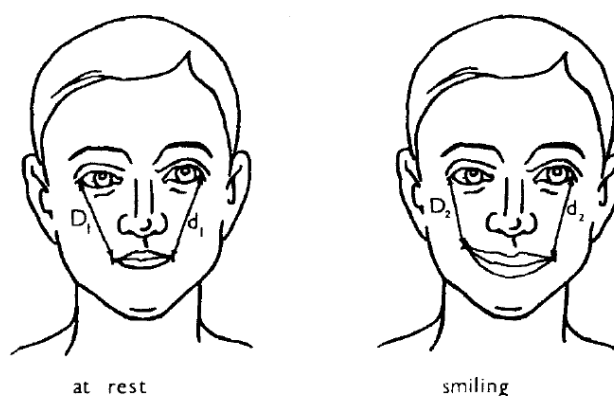
Freyss et al. considèrent dix groupes musculaires faciaux et évaluent leur contractilité (0 à 3), le tonus et la présence de syncinésies avec une cotation allant de 0 à 3 (Freyss et al, 1971). Worthingham propose la cotation suivante 0 : absence de contraction, NF : mouvement non faisable, FF : Faible, faisable, F : Faisable 5 (Hislop, 2011).

La difficulté de ces testings est d' isoler le muscle puisque les muscles peauciers travaillent en synergie et la non prise en compte de l'anatomie individuelle. Ainsi par exemple, le petit zygomatique sera testé systématiquement malgré son inconstance (§ 1.1.2.E).

## I.2.2. Analyse externe de la mimique et mesures cliniques quantitatives.

Manktelow et al. proposent une simple mesure grâce à des rubans gradués lors du sourire de 5 points repères sur la lèvre. Ils concluent que cette technique est précise, simple et fiable (Manktelow, 2008).

Fields et al. ont proposé un « Facial Nerve Function Index » qui mesure la distance entre le canthus externe de la paupière et la commissure homolatérale des lèvres (Fig I.46). Les auteurs présentent un score évalué lors d'un sourire sans découvrir les dents, arcades dentaires en occlusion, et en position de repos. Le pourcentage par rapport au coté sain. Cependant si cette mesure apparaît simple et répétable, elle ne prend pas en compte l'asymétrie faciale (Peckitt et al., 1992)



$$\text{FNFI} = \frac{d_1 - d_2}{D_1 - D_2} \times 100$$

Figure I.46.: Facial Nerve Function Index

Gatignol et al. (Gatignol & Lannadère., 2011) ont proposé une évaluation dynamométrique du sphincter labial (Fig I.47), essentiellement de la fonction des muscles périlabiaux, en particulier de orbiculaire labial.

	Dynamomètre
Grades I/II	500-1000N
Grades III/IV	150-500N
Grades V/VI	<150N

Figure I.47.: correspondance entre le score de house et brackman et les valeurs obtenues au dynamomètre (Gatignol & lannadère,2011).

Frey et al. utilisent un Faciomètre (Faciometer®) défini comme compas permettant de mesurer les distances de manière manuelle entre différents points de la face préétablis au repos et en action pour des mouvements de la mimique faciale prédéterminés (Frey et al., 1994 ; Koller et al. 2000 ).





Figure I.48. Faciomètre.

De leurs recherches, ils concluent cependant à la nécessité de réaliser une analyse tridimensionnelle pour documenter l'extrême complexité des mouvements de la mimique faciale et l'action des muscles peauciers.

### **I.2.3. Analyse de la mimique et Electromyographie (EMG)**

Une des premières approches était d'étudier la mimique faciale à l'aide de l'électromyographie (Burres, 1985 ; Burres & Fish, 1986 ; Duchenne de Boulogne, 1855). Aujourd'hui en situation déficitaire (paralysie faciale typiquement), l'EMG de stimulation du nerf facial avec recueil sur les différents groupes musculaires de la face est utilisé. L'amplitude de la réponse musculaire après stimulation supra maximale permet de calculer la perte axonale par comparaison au côté sain. L'EMG de détection à l'aiguille ou plus récemment grâce à des patchs de surface mesure des potentiels de dénervation, de réinnervation et étudie la possibilité de contraction volontaire. Cette technique en pratique courante présente plusieurs désavantages :

- d'abord son caractère invasif (surtout au niveau de la face) si on n'utilise pas de patchs de surface,
- mais aussi la difficulté d'étudier plusieurs muscles à la fois et d'identifier finement les différents muscles responsables.

Burres et al. ont utilisé l'électromyographie faciale dans le but de la corrélérer avec le mouvement facial chez 30 sujets caucasiens de moyenne d'âge 34,3 ans . 7 mouvements de mimique faciale ont été choisis : fermeture des paupières, rides frontales, froncement des sourcils, mouvement du baiser, de froncement de la peau paralatéronasale, du sourire, fermeture forcée des paupières. Les distances au repos entre plusieurs points sélectionnés et marqués au crayon dermatographique (milieu du sourcil, frontal, nasion, pointe du nez, pied d'aile narinaire, commissure labiale et milieu des lèvres, canthus médial, canthus latéral) ont été sélectionnées. Ils définissent ensuite des segments entre ces points pour réaliser des mesures linéaires. Les différences entre chaque hémiface d'un même sujet ont été notées, et varient de 3 à 6 % . Des électrodes électromyographiques sont placées au niveau jugal au dessus du sillon nasogénien (en regard des releveurs et muscles zygomatiques). Les mouvements ont été classés selon l'activité électrique recueillie par les électrodes en faibles ou forts.

Plusieurs limites peuvent être soulignées :

- la non prise en considération de l'erreur de positionnement des points lors du marquage au crayon dermatographique
- la non connaissance de la reproductibilité inter-individuelle des mouvements considérés
- le positionnement des électrodes

#### **I.2.4. Etude de la mimique et technique d'acquisition 2D ou 3D**

Récemment dans une volonté de rendre plus systématique et objective l'évaluation de la mimique faciale, des systèmes informatisés couplés ou non à la vidéoscopie ou à des systèmes d'analyse sur plateforme du mouvement ont fait l'objet de protocoles de recherche . Certains auteurs analysent le déplacement linéaire, au repos et au mouvement maximal, de points de référence cutanés préétablis sur le visage ou de marqueurs en 2 dimensions ou 3 dimensions; d'autres s'attachent à étudier les changements de luminance de chaque aire faciale lors du mouvement ; et d'autres encore ont utilisé la photographie ou la vidéoscopie avec marquage facial et systèmes d'échelles . Quelques exemples sont donnés dans cette partie, en les regroupant par technique 2D et 3D.

##### **I.2.4.A. Technique 2D**

Wood et al., ont comparé le sourire et la fermeture des yeux de sujets à l'aide d'une échelle de mesure générée par l'ordinateur (microscaling). Une échelle est « surimprimée » sur la vidéo lors du mouvement permettant ainsi une quantification du mouvement en 2 dimensions (Wood et al., 1994).

Johnston et al. ont mis au point une méthode d'analyse vidéoscopique par tracking à l'aide de points placés sur certains repères sur la face (Fig I.49) (Johnson et al., 2003). Les auteurs mesurent par

cette méthode le déplacement des points repères lors de la réalisation de mouvements de la mimique faciale à partir de la position de repos.

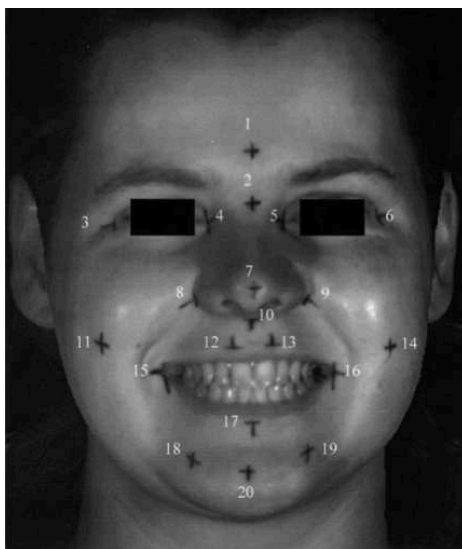


Figure 1.49. : points repères étudiés par Johnston à l'aide de 2 caméras vidéos.

Le FACE « Facial Analysis Computerized Evaluation » a été développé par Neely et al. Les zones mobiles sont identifiées par l'intermédiaire d'un système vidéoscopique 2 D, et ils mesurent les vitesses de contraction lors de mouvements de la mimique faciale, ces vitesses sont comparées au côté sain (Neely et al.,1992) .

Isono et al. utilisent également une méthode vidéoscopique 2 D en plaçant 24 marqueurs sur la face, celui placé sur la pointe nasale étant considéré comme fixe. Des mesures quantitatives ont pu être obtenues (Isono et al.,1996).

Linstrom et al. proposent un système de vidéoscopie informatisé interactif le « Peak Motus software ». Ils étudient le déplacement de points repères lors de deux mouvements : la fermeture des paupières et le sourire sur des sujets sains et des patients avec une mimique anormale, et donnent des informations de déplacement en 2 dimensions selon un axe vertical et horizontal. Cependant, il existe des facteurs confondants notamment liés à la position de la tête, le temps lié au positionnement des marqueurs et à l'analyse secondaire (Linstrom et al,2000).

Meier-gallati et al.(Meier-gallati et al.) et Scriba et al. (Scriba et al.,1999) ont présenté leur expérience avec l' «Objective Scaling of Facial Nerve Function Based on Area Analysis (OSCAR) utilisant les variations de la luminance (intensité lumineuse/m<sup>2</sup>) produites par les changements d'expressions faciales. En utilisant une caméra, l'étude des mouvements du sourire, de la fermeture totale des paupières et du froncement des lèvres est réalisée en divisant la face en 3 zones dans lesquelles est mesurée la variation de luminance correspondant à chacun des mouvements. Le principal inconvénient est le temps d'acquisition qui est considérable, supérieur à 1 heure.

### I.2.4.B. Technique 3D

Yuen et al. utilisent la lumière moirée pour produire des lignes sur la face. L'alternance de largeur des bandes formées sur les zones faciales permet d'en estimer les reliefs et donc de calculer une profondeur. Les auteurs comparent ensuite les 2 hémifaces (Yuen et al, 1994).

Frey et al. ont les premiers utilisé les systèmes ViCON pour une analyse tridimensionnelle des mouvements de la face à but clinique (Frey et al., 1999). Initialement ils avaient développé un système de miroir (Fig I.50) permettant un rendu 3D des acquisitions video (Frey et al, 1994).

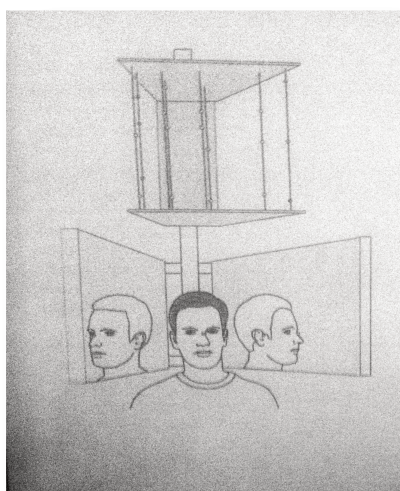


Figure I.50. système de miroir selon Frey pour obtenir une image tridimensionnelle (Frey et al,1994)

Mishima et al. se sont concentrés sur une étude du mouvement des lèvres (Fig I.51) (tracking de 12 points) à l'aide de trois caméras infrarouges et une caméra couleur, après une première étude pilote. Dans leurs travaux, les mouvements de la tête sont compensés par un casque en damier qui sert de référentiel (Mishima et al. 2004, Mishima et al, 2010).



Figure I.51 : Exemple de l'étude du mouvement des lèvres selon Mishima avec un système d'acquisition 3D, chez un volontaire sain à gauche et chez un patient à droite

Popat et al. (Popat et al., 2009) ont utilisé le 3dMD (Fig I.52) pour analyser le mouvement des lèvres chez 25 sujets en comparant la reproductibilité de mouvements verbaux (sur le mot « puppy ») et non verbaux à 1 mois d'intervalle.

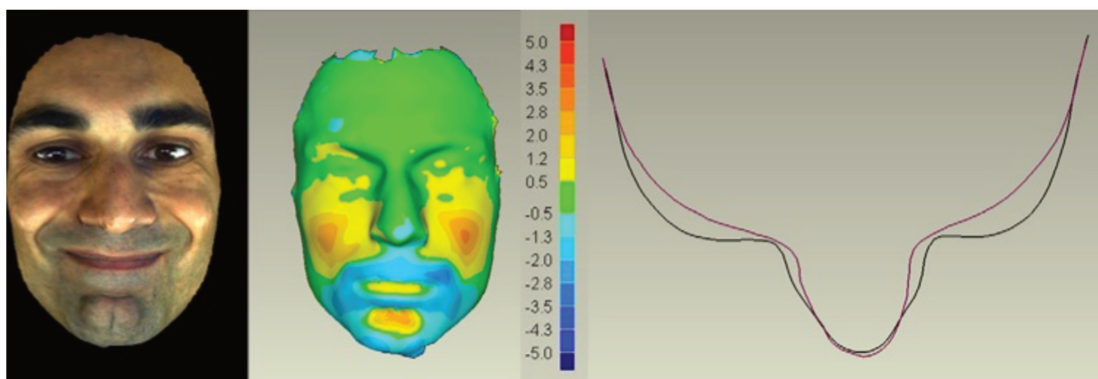


Figure I.52 : Illustration du mouvement d'étirement des commissures chez un sujet normal utilisant le principe de stéréophotogrammétrie.(Popat,2009)

Le 3dMDface™ Dynamic system (Fig I.53) est basé sur le principe de stéréophotogrammétrie active et utilise la lumière infra-rouge pour capturer une image en 3 dimensions . Il existe 6 caméras sur 2 pieds fonctionnant au dessus de 60 fps (frame/seconde). Dans ce système, il est possible d'enregistrer le temps et le son. La lumière blanche est utilisée pour capturer les images colorées et texturées de la face simultanément avec le motif infra-rouge qui produit les données en 3 dimensions (Fig I.54).



Figure I.53: système de capture 3DMD, Motif infrarouge





Figure I.54 : Images en 3D

D'autres systèmes basés sur le même principe existent comme le D4MD™, ou les Artec 3D Scanners. En effet, le scanner 3D surfacique initialement développé à des fins industrielles, notamment de retro-engineering, a vu son champ d'utilisation s'élargir au cours des dernières décennies.

En parcourant la littérature, il est frappant de constater l'essor pris par cette technologie ces dernières années dans le domaine médical, et notamment dans celui de la chirurgie de la face.

Un certain nombre d'études et de publications font objet de l'intérêt du scanner surfacique dans trois principaux domaines concernant la face. Il s'agit de l'évaluation de la réparation des fentes labio-palatines (Djordjevic et al., 2012; Li, 2013), l'évaluation des résultats en chirurgie orthognathique (Baik et al., 2010, Plooi et al., 2011; Shimomatsu et al., 2012), la réalisation à visée iconographique documentaire morphologique (Kau et al., 2006), ou l'évaluation des tissus mous de la face dans le changement de position et du vieillissement (Iblher, 2013). Mais ces études sont principalement réalisées en statique ou comparent des données en fonction du sexe ou de l'âge (Fig I.55).

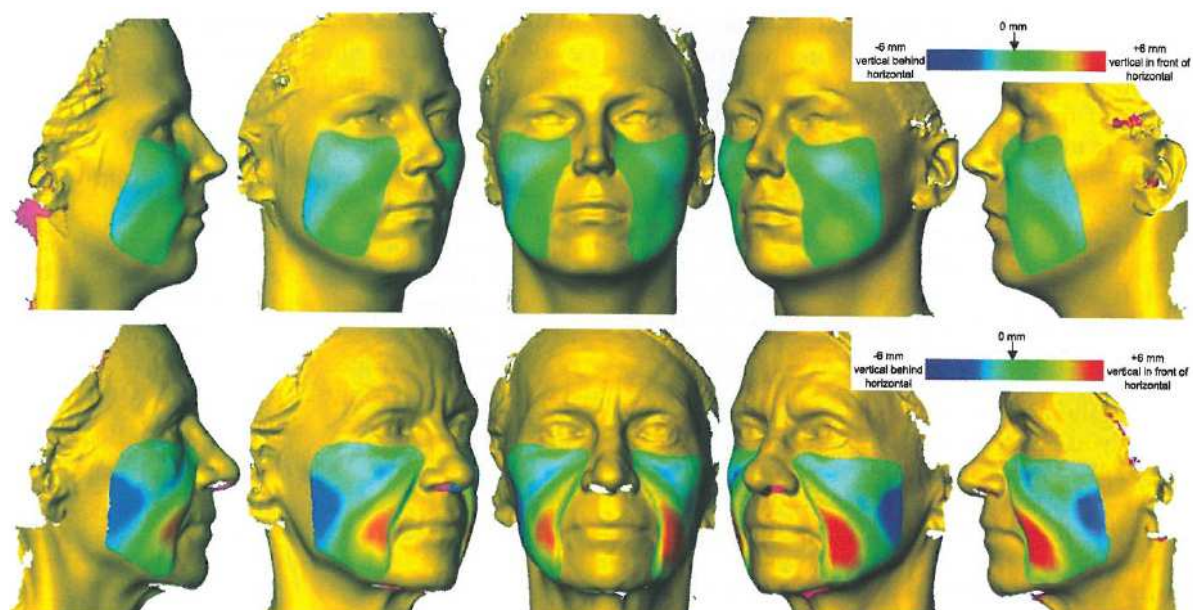


Figure 1.55.: visualisation quantitative des modifications des tissus mous de la joue entre la position debout et couché chez le sujet jeune et âgé (d'après iblher et al., 2013)

Les développements faits par Hontanilla et Aubà (Hontanilla & Auba, 2008), appelés FACIAL CLIMA sont remarquables. Ceux-ci ont en effet permis d'objectiver le mouvement des structures externes avec un système Vicon d'analyse du mouvement à 3 caméras à l'aide de marqueurs passifs permettant une analyse tridimensionnelle dans les 3 axes (x,y,z) de l'espace. Cependant aucune corrélation directe avec les groupes musculaires mis en jeu n'est présentée. Le positionnement des marqueurs (Fig 1.56) a été entrepris dans leur expérience selon Tomat et Mankelow (Tomat et al., 2005) pour la partie supérieure et selon Frey pour la partie inférieure (Frey et al., 1999).

Les consignes données étaient : fermer et ouvrir les yeux sans cligner ; élever et relâcher les sourcils, sourire. Pour chaque marqueur ils obtiennent une configuration statistique du mouvement.

Les paramètres étudiés sont : amplitude de l'angle frontal, raccourcissement du vecteur frontal, vitesse de l'élévation du sourcil , amplitude des angles palpébraux , raccourcissement du vecteur palpebral, vitesse de la fermeture des yeux/amplitude de l'angle nasolabial, raccourcissement du vecteur zygomatique, vitesse du raccourcissement du vecteur zygomatique, amplitude de la région jugale/angle du sourire (Fig 1.56).

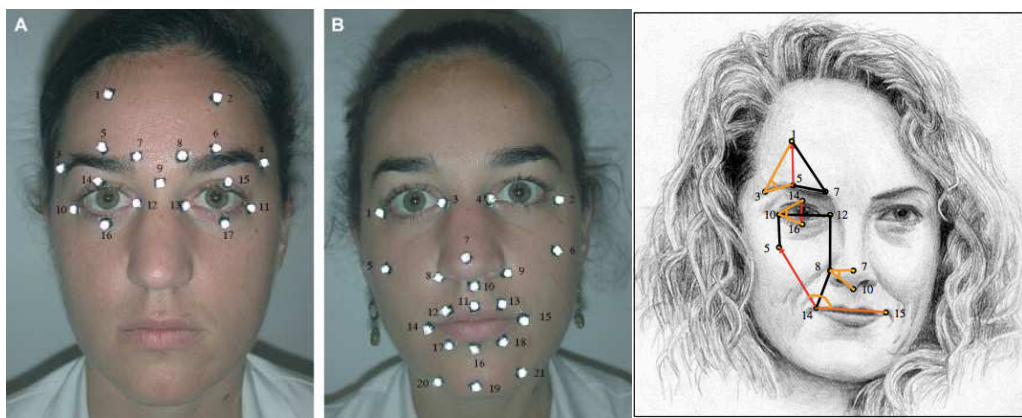


Figure I.56.: Positionnement des points Hontanilla ; d'après Frey et Tomat

Dans l'ensemble de cette littérature, il faut noter que la notion de points fixes de repère que l'on utilise pour analyser le mouvement est importante, mais qu'elle n'est pas standardisée (Tableau I.19 ), de même la reproductibilité de la réalisation du mouvement n'est que très rarement précisée.

	Nombre de repères	Point Références statiques/dynamique	Mouvements étudiés	Commentaire
Hontanilla et al.2008 VICON	37 marqueurs	Partie supérieure: 5/17 Partie inférieure : 5/21	4: sourire /protrusion labiale/ élévation des sourcils	17 pour la partie supérieure/21 pour la partie inférieure 2 en communs
Mishima et al. 2003	20 Points définis par repérage sur écran	8/12	Lèvre et la prononciation des sons a i u e	Points placés manuellement sur la vidéo
Frey et al 1999	21 Points définis au crayon sur la peau	3/18	9 mouvements et compter	Un des premiers à avoir utilisé système VICON pour des explorations médicales faciales
Johnston 2003	20 Points marqués au crayon sur la peau		5 mimiques faciales dont le sourire naturel ( serrer les dents légèrement et prononcer le mot chees) ; sourire maximal, gonfler les joues , repos, protrusion labiale sur le sifflement.	
Tomat 2004 Video/ point repères	8 au crayon dermo Lèvres uniquement	1/8	Sourire position maximale/ position au repos	Superposition de 2 séquences video en les recalant par rapport au point de référence nasale

Tableau I.19. : Nombre de points repères et points references utilisés selon les différents auteurs dans l'analyse de la mimique faciale



### I.2.5 Synthèse

Au delà des testings et des cotations musculaires utilisés en clinique, quelques développements de techniques d'acquisition en 2 ou 3 dimensions ont cherché à mieux évaluer et caractériser la mimique faciale. Aucune aujourd'hui n'est utilisée en routine, aucune ne teste systématiquement les mêmes mouvements de la mimique faciale.

Avant toute démarche , il semble nécessaire d'évaluer la reproductibilité intrinsèque des mouvements de la mimique faciale chez le sujet testé. L'évaluation réalisée devra s'appuyer sur une cotation du mouvement s'appuyant sur des bases anatomiques mais adéquate à une transformation en un codage systématique, l'emploi du FACS paraît en ce sens approprié.

Aucun développement ne corrèle de façon personnalisée les résultats d'évaluation de la mimique à l'anatomie propre du sujet.



***Dans les chapitres suivants, un état de l'art sur la caractérisation interne est réalisé, avant d'identifier et de sélectionner les mouvements de la mimique qui seront étudiés (Chapitre II) et de présenter nos propres résultats de caractérisation externe (Chapitre III) et interne (Chapitre IV) de ces mouvements.***

## I.3 ETAT DE L'ART : CARACTERISATION INTERNE DE LA MIMIQUE FACIALE

*L'objectif de cette partie était de recenser les travaux d'étude des muscles peauciers in vivo à travers l'imagerie (essentiellement l'IRM). Peu de travaux ont été menés à ce jour.*

### I.3.1 Travaux menés avec l'échographie

L'échographie reste un examen opérateur dépendant, donc peu reproductible. Cependant il reste un examen facilement accessible. Dans la littérature, on retrouve quelques articles d'intérêt pour notre sujet.

McAlister et al. étudient une population de 54 étudiants (30 caucasiens et 24 asiatiques) afin de déterminer si la hauteur du découvrément gingival lors du sourire est en relation avec l'épaisseur de la musculature labiale en particulier les élévateurs de la lèvre tels que le muscle grand zygomatique et le releveur de la lèvre (levator labii superioris). Ils déterminent 3 groupes en fonction de l'élévation de la lèvre au sourire (Haute-Moyenne et Basse). L'épaisseur des muscles était mesurée sur le muscle relâché. L'épaisseur du muscle chez les sujets dans les 3 groupes de sourire est comparée (Tableau I.20). Il y avait significativement plus de femmes avec un sourire gingival et le muscle zygomatique était plus épais chez les femmes, mais aucune différence significative dans les trois groupes de sourire. L'échographe utilisé était un General Electric RT 2800, Milwaukee, Wisconsin/ sonde linéaire de 7,5 MHz). Les auteurs stipulent qu'il existe une courbe d'apprentissage pour la recherche de ces muscles en échographie, le muscle zygomatique peut être repéré par la palpation, le muscle releveur de la lèvre est recherché sur la projection d'une ligne pupille aile nasale. (McAlister et al., 1998).

	Muscle	n	Smile line							
			High			Medium			Low	
			Mean (mm)	SD	n	Mean (mm)	SD	n	Mean (mm)	P
Men	LLS	3	3.11	0.71	17	3.05	0.60	4	2.83	0.856
	ZM	3	5.02	0.88	17	4.60	0.84	4	5.26	0.558
Women	LLS	13	3.09	0.43	17	3.51	0.58	-	-	0.121
	ZM	13	6.55	0.98	17	5.73	0.94	-	-	0.092

tableau I.20. : Comparaison de l'épaisseur du muscle levator labii superioris (releveur) et du zygomaticus major (grand zygomatique) en échographie par type de sourire.

Deng et al. ont publié une nouvelle méthode utilisant un prototype basé sur le principe d'échographie permettant de suivre le mouvement du muscle orbiculaire des lèvres (orbicularis labii) lors des mouvements labiaux sans contact direct de la sonde d'échographie (Fig I.57). En effet, le tiers inférieur de la face était immergé pendant l'acquisition pour minimiser les déformations dues à l'application directe de la sonde d'échographie (Deng et al., 2000). Quatre volontaires ont bénéficié de

cette technique. Les changements d'aspect des groupes musculaires lors du mouvement étaient visibles.

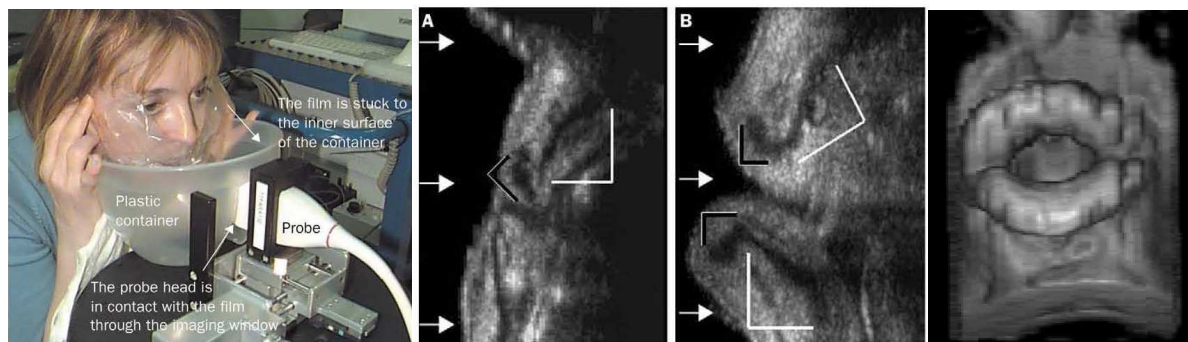


Figure I. 57: Prototype d'échographie sans contact utilisé par Deng et al. (à gauche), comparaison entre l'imagerie échographique avec contact de la sonde d'échographie (A) et sans contact (B) ( au centre), Aspect 3D du mouvement de la moue (à droite) (Deng et al.,2000)

### I.3.2. Travaux menés avec le Scanner

Cet examen permet une bonne acquisition des parties osseuses, mais la définition du muscle peucier est peu satisfaisante et l'individualisation de chaque unité musculaire semble difficile. De plus il est irradiant. Il a cependant été utilisé par les équipes à des fins de modélisation (Fig I.58, Fig I.59)(Groleau et al. 2007; Payan et al.,2002 )

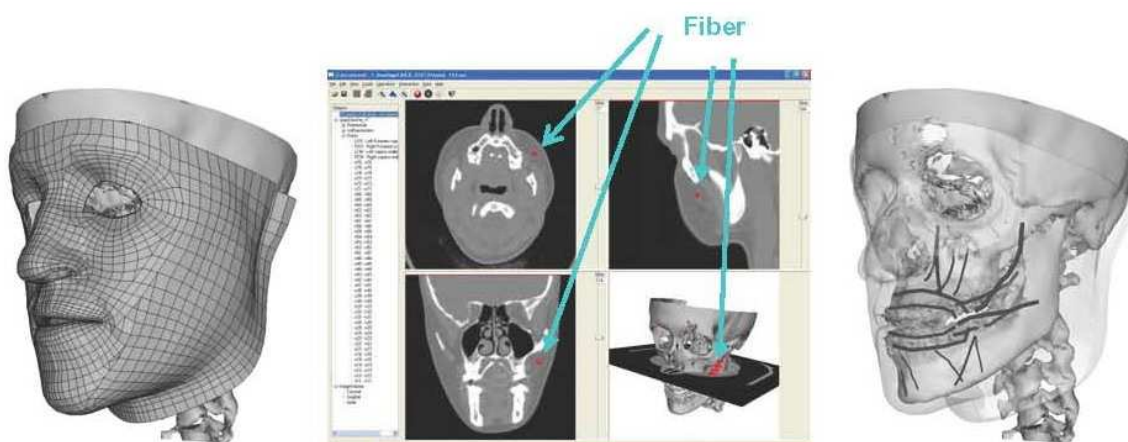


Figure I.58. :modélisation d'une face d'un volontaire à partir de son scanner, segmentation du muscle zygomatique à partir du scanner et localisation de 11 muscles peuciers.

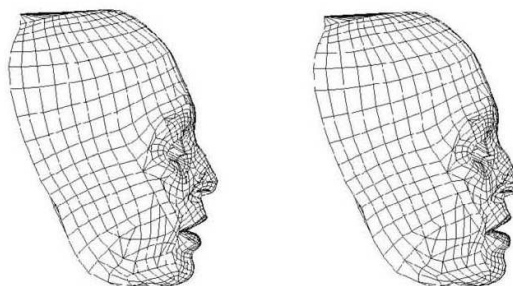


Figure I.59. simulation d'une avancée mandibulaire (Payan et al, 2002)

### **I.3.3. Travaux menés avec l'IRM**

#### **I.3.3.A Généralités**

L'IRM est un examen permettant d'obtenir une meilleure définition que les techniques d'imagerie citées au § 1.3.2. L'imagerie par résonance magnétique utilise les propriétés magnétiques des atomes de protons ( $H^+$ ) contenus dans les molécules d'eau du corps humain, propriétés qui se caractérisent par un vecteur de magnétisation. Lorsqu'un sujet passe dans une IRM, c'est à dire dans un gigantesque aimant, les protons sont soumis à un champ magnétique élevé de 1,5 ou 3 Tesla (rarement plus élevé) en fonction de la puissance de l'IRM. L'onde de radiofréquence à laquelle les protons sont soumis orientent certains des atomes parallèlement au champ magnétique et d'autres antiparallèlement.

A l'arrêt de cette onde, les protons reprennent leur inclinaison initiale et restituent l'énergie du champ magnétique qu'ils avaient absorbée sous forme d'ondes. L'analyse de ces ondes permet de former une image, obtenue par la transformation de Fourier.

Les signaux recueillis par les protons vont être analysés et vont permettre la reconstruction d'une image sous plusieurs coupes. La durée nécessaire aux protons pour reprendre leur position initiale n'est pas la même en fonction des tissus. Ceci permet de différencier les tissus, l'image étant formée par un contraste de noir et de blanc. Plus le signal en provenance d'un point donné du corps est intense, plus le point correspondant de l'image est blanc et inversement.

L'intensité du signal dépend des paramètres physiques magnétiques propres à chaque tissu, on parle de temps de relaxation. Ces paramètres correspondent à la période de retour à l'équilibre des atomes d'hydrogène après leur excitation par l'onde de radiofréquence. Pour chaque tissu, il existe deux types de temps de relaxation, le T1 et le T2 qui vont influencer sur l'intensité du signal obtenu T1 et T2 (T1 est le temps de relaxation longitudinal, T2 est le temps de relaxation transversal). Le nombre des atomes d'hydrogène dans le tissu va également influencer l'intensité du signal recueilli. L'excitation des protons se fait selon des séries successives d'impulsions de radio fréquences. Il est ainsi possible de différencier facilement des structures liquides, solides, grasses, ainsi que les tissus tumoraux ou inflammatoires. Par contre les éléments contenant du calcium (l'os et les calcifications) étant dépourvus d'hydrogène  $H^+$ , n'émettent pas de signal et restent noirs.

### **I.3.3.B. Identification des muscles peauciers en IRM et mesures morphométriques**

Concernant les études menées au niveau des muscles peauciers en IRM, la littérature ne présente que des études statiques qui ne caractérisent pas le mouvement. En effet, à notre connaissance, aucune étude n'a été publiée sur la réalisation d'IRM dynamique dans l'étude des mouvements du visage.

Des études de ciné-IRM de la région cervico-faciale ont été publiées concernant non pas les muscles peauciers mais l'évaluation de la déglutition (acquisition au niveau de la région cervico-faciale). La mobilité linguale et de la base de langue après chirurgie de reconstruction par lambeau chez 10 patients a été évaluée cliniquement puis en IRM. Le protocole d'acquisition était réalisé sur une IRM 1,5 Tesla (Signa General Electric, Milwaukee, WI, USA) avec une antenne neurovasculaire. Une coupe coronale de 15 mm d'épaisseur centrée sur la zone d'intérêt est réalisée (ici : région valléculaire). Les paramètres suivants ont été utilisés : champ d'exploration 220 mm, Temps de répétition 4900 ms, Temps Echo 90 ms, angle de bascule 90. Il était demandé aux patients de répéter le mouvement de déglutition et une séquence de Ciné IRM a été obtenue en 15-20 acquisitions (Hartl et al., 2008 ).

D'autres études ont été menées pour visualiser les muscles peauciers en IRM 1,5 Tesla dans certaines pathologies. Ainsi Farrugia et al. étudient les méthodes de mesures morphométriques de l'orbicularis oris, et orbicularis oculi sur des coupes IRM (Farrugia et al., 2006) dans la myasthénie (Farrugia et al., 2007). Le protocole d'acquisition sur IRM 1,5 Tesla Siemens Sonata (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) utilise une antenne tête avec élément frontal qui amplifie le signal autour de la bouche. Les coupes sont positionnées à un niveau juste au-dessus du nez et au-dessous de la langue. Une acquisition T2 est réalisée avec et sans FATSAT (saturation de graisse). Seuls certains muscles comme l'orbiculaire des lèvres ont été étudiés (Fig I.60). Les coupes ont été positionnées à un niveau juste au-dessus du nez et au-dessous de la langue. Le procédé de mesure reposait sur l'analyse de la coupe musculaire en 2 dimensions et ne permet pas d'avoir d'autres dimensions que la longueur et la largeur en vue coronale ou axiale.

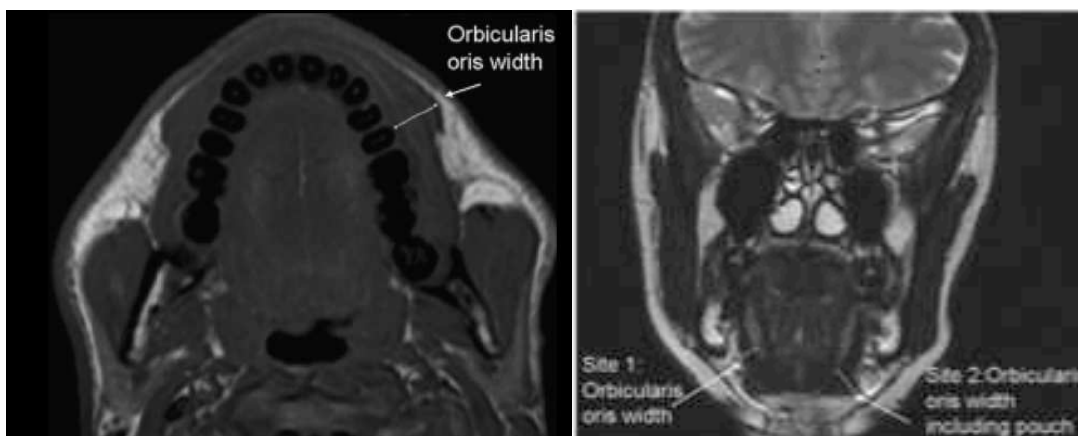


Figure I.60 : Mesure de l'épaisseur du muscle orbicularis oris selon Farrugia et al.(Farrugia et al, 2007)

	Orbicularis Oculi coupe coronale	Orbicularis Oris coupe coronale	Orbicularis Oris coupe axiale
Mesure (mm)	6,78+/-1,09	5,82+/-0,86	10,21+/-1,26

Tableau I .21 : mesures morphométriques des orbiculaires des lèvres et des paupières (Farrugia et al.,2006)

Chez des patients atteints de paralysie faciale, Kaylie et al. évaluent les muscles peauciers comme étant symétriques, asymétriques et moyennement asymétriques (Kaylie et al., 2003). Pour ce faire, ils ont étudié ces muscles (Fig I.61), particulièrement le muscle orbiculaire des paupières, sur des coupes sagittales et coronales, sans reconstruction géométrique et sans calculs objectifs.

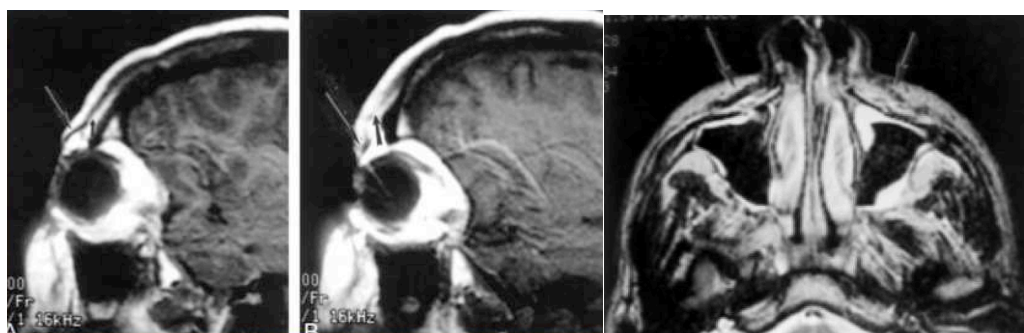


Figure I.61. : Etude de la différence d'aspect entre le côté sain (A) et le côté paralysé (B) sur une coupe sagittale pour l'orbiculaire des paupières et pour le levator labii superioris (releveur) sur une coupe frontale (Kaylie et al., 2003)

Kleinheinz et al. ont étudié chez des patients atteints de fente labio-alvéolo-palatine opérés et des témoins, via des acquisitions IRM (0.5 T ; 1.0 T ; 2.0 T) les muscles péri-labiaux, tels que le muscle grand zygomatique, le muscle releveur de la lèvre supérieure et le muscle orbiculaire des lèvres (Fig I.62). Les séquences (TR entre 500 et 700 ms et TE 10-35ms) permettaient d'obtenir une série de 10 coupes frontales avec une épaisseur entre 3 et 5 mm et en complément 5 coupes axiales et sagittales ont été réalisées. Pour déterminer, jusqu'à quelle précision les muscles des patients pouvaient être évalués, une mesure subjective de l'orbicularis oris a été réalisée. Les auteurs côtaient la possibilité



d'identifier le muscle, et d'en mesurer l'épaisseur (l'échelle étant la suivante : 1 : difficilement mesurable ; 2 :modérément mesurable ; 3 : correctement mesurable ; 4 : très bien mesurable) (Kleinheinz et al.,2001)

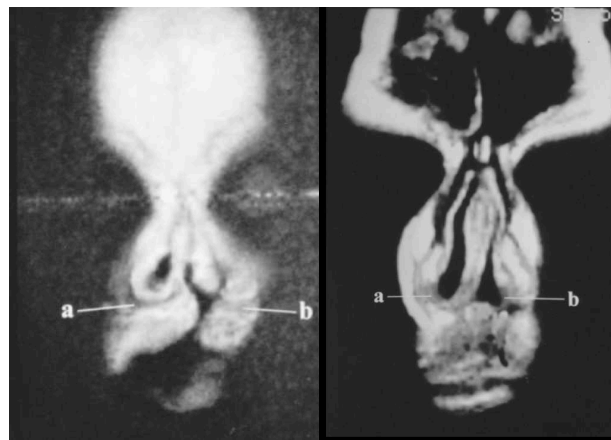


Figure I.62. : coupe coronale groupe de muscle paranasal a : coté sain, et b coté fendu, chez un patient atteint d'une fente labio alvéolopalatine avant opération (à gauche), après l'intervention (à droite) Kleinheinz et al,2001)

Olszewski et al. (Olszewski et al.,2009) ont étudié les muscles peauciers via une IRM 3 Tesla. Le protocole d'étude comprenait des images pondérées en T1 avec un temps d'acquisition de sept minutes, sur un patient sain. La zone d'intérêt étant les muscles périlabiaux. Le logiciel utilisé était le 3D slicer open source software ( Harvard Medical School, Boston, MA, USA). La segmentation était semi automatique. La figure I.63 montre des exemples des images obtenues. Certaines limites, notamment dans la séparation (ex : limite inférieure du muscle buccinateur difficile à objectiver par rapport au muscle abaisseur de l'angle de la bouche) ont pu être objectivées. Aucune mesure morphométrique n'a été réalisée.

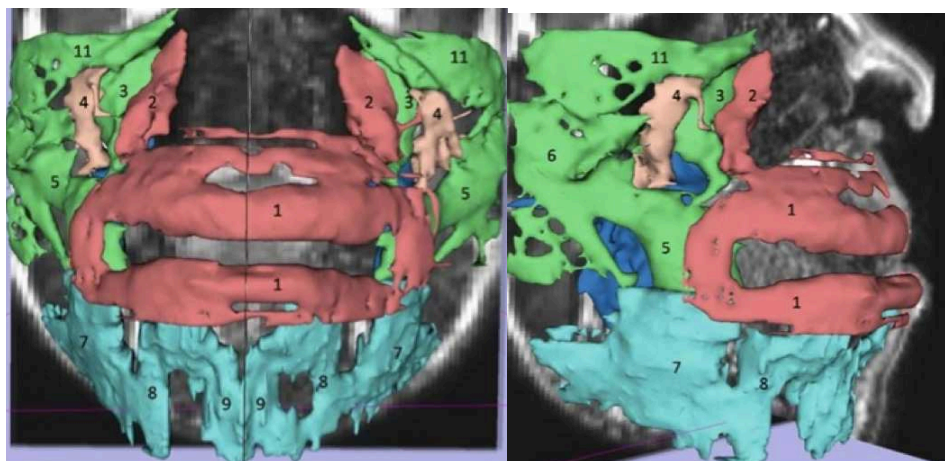


Figure I.63.: Segmentation des muscles peauciers (Olszewski et al, 2009)

Récemment, Volk et al. ont utilisé l'IRM Magnetom Tim Trio; Siemens, Erlangen, Germany, antenne 12 canaux) pour une étude du volume des muscles peauciers chez 10 volontaires (Volk et al.,2014). L'acquisition de toute la tête était réalisée en sagittal T1 (temps de répétition 2300 ms,

Temps d'écho 3,03 ms, voxel  $1 \times 1 \times 1$  mm (=1 mm<sup>3</sup>), matrice 256 × 256, temps d'acquisition 5:21 minutes) . La segmentation semi automatique était réalisée avec le logiciel the Avizo Fire 7.1 software package (Visage Imaging Inc., Carlsbad, Calif.). Les auteurs ont identifié certains muscles peauciers, et signalent les taux d'identification suivant pour les muscles frontal (identification in 4/10 volontaires), procerus (4/10), risorius (6/10), and zygomaticus minor (8/10).

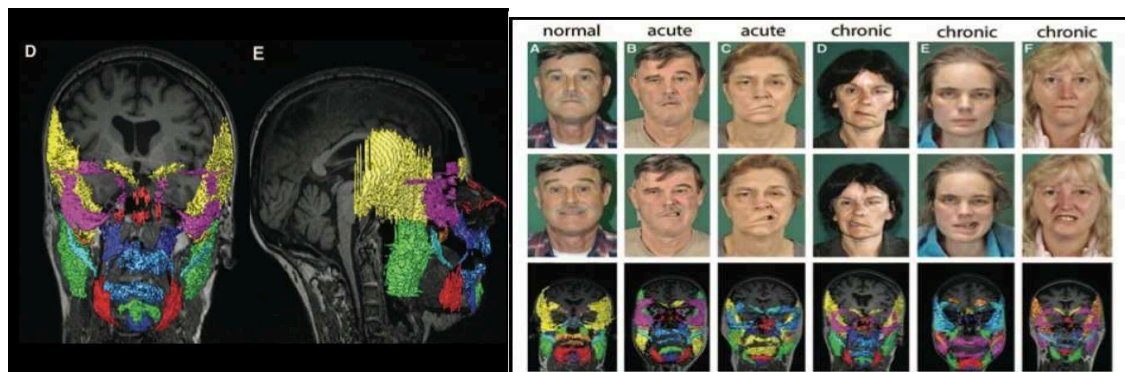


Figure I.64. : segmentation des muscles peauciers et masticateurs semi automatique avec le logiciel AVIZO et exemple de segmentation chez le sujet pathologique (Volk et al.,2014)

Muscle	Volume moyen (mm <sup>3</sup> )
Frontal	549,5
Procerus	80,8
Risorius	102,6
Corrugator Supercilii	347,8
Orbiculaire des paupières	2992
Nasalis	310,5
Zygomaticus major	973
Zygomaticus minor	225,8
Levator labii superioris (releveur)	774,2
Orbicularis oris	1587,3
Depressor anguli oris	1346,2
Depressor labii inferioris	551,2
Mentalis	434,4

Tableau I.22. : Volume moyen de 13 muscles peauciers mesurés par Volk Volk et al.,2014)

Les auteurs nous précisent que les valeurs obtenues doivent être considérées comme des valeurs informatives et non de référence car leur cohorte est trop petite.

***A notre connaissance, aucune étude de référence n'a étudié les muscles peauciers lors de la mimique en situation non pathologique et lors du mouvement. Le tableau I.22 collige les différentes études réalisées en IRM. Ce sera l'objet de nos travaux de recherche menés au chapitre IV.***



### I.3.4. Synthèse

Auteur	Contexte	Objectif	Matériau	Méthode	Résultats
M.Farrugia et al Brain, 2006	Myasthénie AChR MG 80% Myasthénie AChR sérologique sans anticorps AChR et avec anticorps tyrosine kinase (specific muscle tyrosin kinase) MuSK MG.	Etudier en IRM les muscles faciaux & corréler les muscles peauciers et corréler les résultats à la clinique et aux caractéristiques du traitement.	Cohorte : 12 patients MuSK MG 15 patients AChR MG 12 volontaires sains (témoins sains) 4 patients dystrophie myotonique (témoins patients)	Axial T1 (spin-echo, repetition time (TR)=500, echo time (TE)=7.7ms, Voxel =1.2x0.9x0.9mm (19 coupes avec 2 excitations 3mm (iso), niveau de la 1 <sup>ère</sup> coupe juste au dessus du nez et juste en dessous de la langue. T2 axial et sans脂肪, TR=4000ms, TE=99ms, facteur d'accélération 11 : Voxel =1.0x1.0x3.0 mm <sup>3</sup> , 22 coupes avec 4 excitations 2mmx2mm dans chaque cas parallèle au plan de la face + coronale ; niveau de la 1 <sup>ère</sup> coupe en ignorant le nez et en allant jusqu'aux constricteurs du pharynx. Sagittal T1 centré sur la ligne médiane (utilisé surtout muscles rétrobulbaire, lingue) TR=4600ms, TE=99ms, facteur d'accélération 11 Voxel =1.0x1.0x3.0 mm <sup>3</sup> , 22 coupes avec 4 excitations 2mmx2mm dans chaque cas parallèle au plan de la face + coronale ; niveau de la 1 <sup>ère</sup> coupe en ignorant le nez et en allant jusqu'aux constricteurs du pharynx. 4.7%, 8.3%, et 14.3% des patients ont eu la présence squellette T1 / TR=4600 ms, TE=0.07s, involution = 10 mm 76s) cUTE (Gallehouse et al ; byrdair 2003) → autres séries d'images d (UTE) en complétant les temps d'écho par le TE=0.07ms	Mesure de l'épaisseur dans différents plans de 2 muscles peauciers (orbiculaire oris et buccinator) pour l'orbiculaire oris : La mesure dans le plan coronal est plus informative pour déterminer une atrophie
Clin Radiol., 2007	Pr MuSK MG : Sous traitement stéroïde améliorant des faiblesses musculaires mais pas de la participation bulbaire et des signes faciaux. Hypothèse : les stéroïdes à long terme aggravent ces signes	IRM : 1.5 Tesla Siemens sonata Antenne tête et élément frontal de l'antenne cou (augmente le signal autour de la bouche)  statistique	IRM : 1.5 Tesla Siemens sonata Antenne tête et élément frontal de l'antenne cou (augmente le signal autour de la bouche)  statistique	Analyse avec CMR Tools (Imperial college of London ). Segmentation d'images et mesure locale du signal Mesure x3 par le même examinateur. Test de reproductibilité sur les mesures des volumes de la langue et des masséters (forte corrélation r=0.98, P<0.0001) et le coefficient de variation est à 3.7 %  Etude de l'orbiculaire oris dans le plan axial et coronal (utilisation d'un zoom) sur une coupe Sélection de la coupe axiale de mesure du muscle à l'intérieur ou le muscle « pouch outward »idem sur la coupe coronale en prenant comme repère le plan où le cornet nasal apparaît volumineux Sélection de la coupe de mesure du muscle Etude du buccinateur dans le plan coronal : section antérieure de 50 à 60 mm	NB : taille du voxel, épaisseur des coupes, repérage
Kaylie Am J Neuroradiol., 2003.	Paralysie faciale Irm peut détecter les changements musculaire liés à la dénervation : œdème musculaire, augmentation anormale, position anormale du muscle	Evaluer l'aspect des muscles peauciers en préopératoire pour voir si il corrèle les fonctions musculaires et prédirent les résultats après chirurgie	Rétrospective 26 patients avec une PF et un suivi post op de 12 mois IRM statisque	Revue des images en pré (IRM et TDM) et post opératoire (IRM) En signifiant si muscles peauciers sont symétriques ou asymétriques Pas de paramètres d'acquisition	Pas de différence significative entre les IRM
Kleinheinz 2000 Cleft Palate Craniofac J., 2001 Jul:38(4)	Fente labio alvéolaire (FLAP) unilatérale et bilatérale	Visualiser les muscles peauciers périabiaux chez des patients présentant une FLAP	FLAP : 2 enfants FLAP non opérés ; 15 enfants opérés 5 volontaires sains  IRM: - 0.5 T : Elscint Gyrex S-5000 - 1.0 T : Siemens Magnetom M10 - 2 T : Bruker BMT S-200 statistique	TR entre 500 et 700 ms ; TE entre 20 et 35 ms 10 coupes coronales épaisseur 3 à 5 mm 5 coupes dans le plan sagittal et 5 coupes dans le plan axial Evaluation de la possibilité de Mesure de la position et de l'épaisseur du muscle en utilisant une échelle subjective ( 0 > 4)	Sur la coupe la plus dorsale : visualisation de l'orbiculaire oris, grand zygomatique et du levator labii superioris muscle. Possibilité de mesurer l'épaisseur du muscle orbiculaire sur les patients opérés et non opérés
R.Olewiński International journal of computer assisted Radiology and Surgery 2009	Volontaires sains	Identifier et décrire in vivo les muscles de la levre à partir d'images isotropiques IRM 3 tesla ; T1 Justification : modification de la face et des lèvres considèrent l'espace entre les os et la peau comme homogène (mixte d'os et de tissus mous récents) (cela implique qu'ils peuvent être utilisés pour la visualisation et l'animation mais pas pour la cinématique)	IRM 3 T Statistique /Segmentation	Pondération T1 Temps acquisition 7mn Voxel 1x1x1mm Acquisition paupière fermées Analyse avec 3D Slicer open-source software (Harvard Medical School, Boston, MA, USA) 1 sujet africain pour mieux voir les lèvres A tester sur des sujets caucasiens	SFSSSE : haut niveau de résolution spatiale mais une résolution temporelle basse : à 2 images obtenue du aux mêmes patients (de 700ms), le bolus n'a pas pu être suivi
D.M Hardt European Journal of Radiology 2010	Dégénération après intervention de type glossectomie	Pas d'analyse de CINE IRM pour une évaluation non invasive de la dégénération après chirurgie linguale	IRM 1.5 T dynamique	Pondération T2, SFSSSE cine MRI 1 coupe sagittale de 15 mm, centrée sur la zone d'intérêt (région veillaire) T2 : T2 PD : acquisition par coupe FOV : 220 mm Matrix : 320x256 pixels ; Flip angle=90° ; Rephasing impulse 160° ; Motion 256x128 ; 1 excitation et bandwidth =62.5 Cine IRM sequence de 15-20 acquisitions. Nb : cine IRM utilisé dans l'analyse du mouvement de la langue dans la parole, High resolution	SFSSSE : haut niveau de résolution spatiale mais une résolution temporelle basse : à 2 images obtenue du aux mêmes patients (de 700ms), le bolus n'a pas pu être suivi
Berberino	Exploration du comportement mécanique des couches superficielles de la face	Elaboration d'un modèle 3D élément fini	IRM 1.5 T Philips Achieva	In plane resolution 0.1mmx0.1mm High resolution	Visualisation des épaisseurs de tissus mous Peau= 4.7 mm

Tableau I.23. : revue des études IRM menées sur les muscles peauciers



# CHAPITRE II

---

IDENTIFICATION DES MOUVEMENTS  
PERTINENTS DE LA MIMIQUE FACIALE.

***Dans cette partie, nous présentons les mouvements de la mimique faciale choisis, justifions ce choix, et citons les participations musculaires attendues sur chacun des mouvements.***

## **II.1 MOUVEMENTS CHOISIS**

La multiplicité possible de positions de mimique faciale (voir § I.2) rend difficile une étude dans sa globalité de toute la mimique. Nous avons donc choisi comme mouvements à étudier :

- Mouvement n°1 : fermeture normale des paupières
- Mouvement n°2 : fermeture forcée des paupières
- Mouvement n°3 : protrusion labiale sur le son [o]
- Mouvement n°4 : protrusion labiale sur le son [pμ].
- Mouvement n°5 : l'étirement des commissures en découvrant les lèvres.
- Mouvement n°6 : étirement spontané des commissures, « sourire spontané »

L'examen clinique réalisé dans ce travail comporte une analyse clinique de la face, et en particulier une analyse de 5 mouvements à partir de la position neutre. Le mouvement n°6 est le sourire spontané qui sera obtenu en cherchant le sourire réponse. Nous avons élaboré une fiche de recueil de données concernant des points particuliers et pertinents de l'analyse clinique de la face, ceux-ci sont utiles à notre avis pour les développements expérimentaux visés dans cette thèse et dans la suite du projet SIMOVI (annexe 1). Cette fiche reprend des éléments cliniques comme la forme du visage, présence de rides et sillons remarquables (Zufferey et al, 1992), le type d'orbite (Lemaire et al., 2012), le « côté dominant » facial (Chevalier, 1990).

## **II.2 JUSTIFICATION**

En nous appuyant sur les données de la littérature (voir Chapitre I) et sur notre expérience clinique, ces mouvements sont choisis pour leur qualité essentielle dans les fonctions physiologiques de la face (i.e contrôle des orifices de la face : orifice narinaire, buccal, orbitaire et modification de l'expression).

En effet, les principaux mouvements faciaux ont un rôle dans l'expressivité de la face qui s'organise autour des muscles constricteurs (l'orbiculaire des paupières et des lèvres) et des muscles dilateurs (muscles péri-buccaux), mais aussi un rôle fonctionnel : protéger les yeux, permettre l'élocution (émission de sons labiaux), participer à la phase buccale de la déglutition et à la compétence

labiale (contact bilabial sans tension, ni distorsion qui garantit la continence salivaire et participe à la rétention du bol alimentaire lors de l'alimentation (Brix, 2002). La fonction des muscles peauciers se répartit donc entre le rôle de mimique, de communication, le rôle viscéral de protection des organes sensoriels, et celui de mastication qui prédomine pour les muscles sphinctériens (orbicularis oculi et labii) ainsi que les muscles profonds (buccinator).

### **II.2.1. Protection du globe oculaire**

Les mouvements 1 et 2 sont représentatifs de l'occlusion palpébrale et dans une certaine mesure du clignement. Ce dernier est un mouvement que l'on reproduit plus de 10000 fois par jour et qui augmente la fatigue et le niveau d'attention (Henri & Garten, 1898), il permet d'humidifier la cornée en maintenant un film lacrymal suffisant. L'absence d'occlusion ou une occlusion imparfaite entraîne des atteintes du globe oculaire sévères (keratites).

La possibilité de fermer les paupières protège l'œil lors de luminosité trop importante.

Ce mouvement est réalisé grâce à l'action de l'orbiculairis oculi (orbiculaire des paupières) et au releveur de la paupière supérieure.

### **II.2.2. Compétence labiale**

Les mouvements 3 et 4 sont représentatifs des fonctions de compétence labiale. En effet, la mobilité labiale participe à la phase buccale de la déglutition. les muscles péribuccaux stabilisent le sphincter labial capable d'enfermer les aliments. Tout défaut de ce mouvement peut entraîner un syndrome de bavage et des troubles de la déglutition.

Le rôle de l'orbiculaire labii (orbiculaire des lèvres) est primordial dans la compétence labiale.

### **II.2.3. Elocution et articulation des sons**

La variation du positionnement labial permet également d'articuler les sons produits par les cordes vocales. Ils rendent donc possible la prononciation.

Le mouvement de la mimique faciale n'est naturellement pas contraint, aucune contrainte externe ou de positionnement de la tête ne peut donc être exigée lors de l'analyse des mouvements choisis. Une problématique s'est posée quant à la consigne à énoncer pour la réalisation des 5 mouvements (fig.II.1). Nous avons opté pour une consigne orale.

La première formulation était la suivante : 1.fermez les paupières ; 2.fermez les paupières fortement ; 3.froncez les lèvres (faites le même mouvement qu'un baiser) ; 4.froncez les lèvres fortement (faites le même mouvement que la moue), 5.souriez. Ces consignes orales ont été testées qualitativement sur 2 sujets. Pour les mouvements 3 et 4, il est rapidement apparu que la consigne n'était pas assez précise. Ainsi, nous avons détaillé les consignes et en particulier pour le froncement des lèvres. En effet, la consigne qui doit faire réaliser le mouvement du baiser de façon plus ou moins prononcé est de réalisation erronée sur la consigne « faites la moue ». Nous avons fini donc par opter pour une réalisation du mouvement sur un son, rejoignant ainsi la notion de visème, qui décrit la position particulière de la face et de la bouche lors de la prononciation d'un son (Fischer, 1968). En effet, la simple consigne orale « faites la moue » ne permettait pas de reproductibilité chez le sujet test. Puis , en réalisant une analyse qualitative vidéoscopique sur un sujet test : comparaison et superposition de 2 enregistrements de profil lors de la réalisation du son [o] et du son [pμ] , ainsi qu'en Cine-IRM nous avons pu comparer la protusion labiale sur les 2 sons.



Figure II.1 : comparaison des 2 positions maximales du mouvement sur le son [o] (gauche) et sur le son [pμ].

Effectivement la protrusion labiale est plus importante sur le son [pμ]. Suzanne Borel Maisonnay avait déjà décrit les mouvements dans son traité pratique de phonologie et de phoniatrie (1941) des radiographies des sons (Fig II.2) pour permettre de distinguer différents mouvements d'éléments de la cavité buccale (Héral, 2011) .

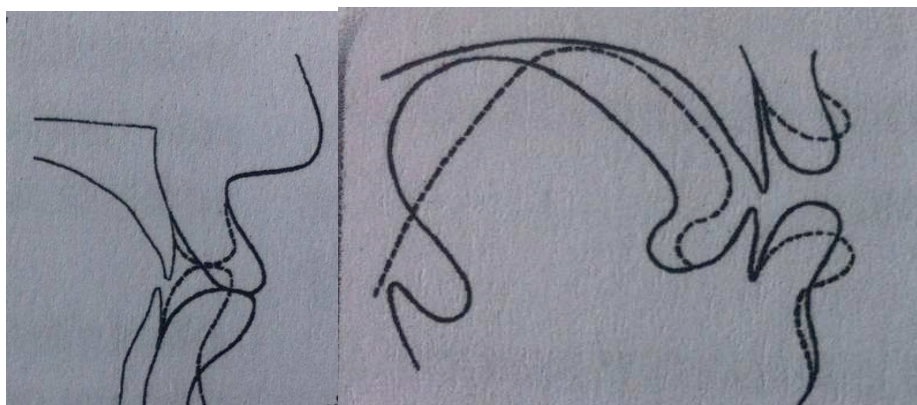


Figure II.2 : description des mouvements d'éléments de la cavité buccale sur le son O

Pour les autres mouvements des consignes orales plus descriptives ont donc été élaborées (Voir chapitre III ), et l'un des membres du binôme (chirurgien maxillo-facial, kinésithérapeute) réalisait le mouvement une fois afin de le montrer.

#### II.2.4. Mouvements ayant un rôle dans l'expressivité de la face

Les mouvements 5 et 6 sont représentatifs d'un mouvement d'expression de la face, puisqu'ils correspondent au sourire.

### II.3 CORRELATION ANATOMO-CLINIQUE

D'après le chapitre I, nous pouvons citer les muscles activés lors des mouvements pertinents choisis.

Ainsi lors du mouvement n°1, la participation attendue est celle de l'orbiculaire des paupières, et du releveur de la paupière mais d'autres muscles peuvent être sollicités par étirement ou par contraction.

Lors du mouvement n°2, la participation attendue est celle de l'orbiculaire des paupières, mais également d'autres muscles qui seront plus ou moins « activés » (i.e contractés). Ceux-ci sont le pyramidal (procerrus) ; corrugator (sourcilier), abaisseur du sourcil, muscle transverse (par traction du muscle pyramidal), muscles zygomatiques, releveur de l'aile du nez et de la lèvre et du releveur de la paupière.

Lors du mouvement n°3, la participation attendue des muscles est celle de l'orbiculaire des lèvres (des muscles incisifs et éventuellement du compresseur des lèvres, la participation de ces 2



derniers muscles est difficile à évaluer cliniquement), ainsi qu' à petite échelle par rapport au mouvement N°4 la participation des parties musculaires terminales des muscles périlabiaux : Houppe, Carre du menton, triangulaire, zygomatiques, releveurs, buccinateur et risorius.

Lors du mouvement n°4, la participation attendue est celle de l'orbiculaire des lèvres, du compresseur des lèvres et des muscles incisifs, éventuellement du compresseur des lèvres et les muscles de la houppe, carré, triangulaires, zygomatiques, releveurs, buccinateur, risorius.

Lors des mouvements n°5 et 6, la participation attendue est celle du grand zygomatique et éventuellement du muscle petit zygomatique, canin, releveur de l'aile du nez et de la lèvre, de l'orbiculaire des paupières, du risorius et abaisseur de la lèvre, les muscles de la houppe, du carré sont entraînés par mise en jeu des tractions.

## II.4. CONCLUSION

Au total, nous avons donc sélectionné comme mouvements « pertinents»: -des mouvements représentatifs de la fonction : 1. représentatif de l'occlusion palpébrale : fermeture des paupières, 2. représentatif de la compétence labiale : froncement des lèvres, 3. un mouvement représentatif de l'expressivité : le sourire avec étirement des commissures et découverture des dents.



***Dans le chapitre suivant, nous caractériserons les mouvements choisis grâce à une méthode que nous avons élaboré, base sur l'analyse d'enregistrement vidéoscopique et le FACS.***



# CHAPITRE III

---

## CARACTERISATION EXTERNE DES MOUVEMENTS SELECTIONNES DE LA MIMIQUE FACIALE

***L'évaluation objective des mouvements de la mimique faciale reste difficile en routine clinique. En effet, comme nous l'avons vu précédemment (Chapitre I.I.7), l'évaluation et la rééducation de la mimique faciale posent l'hypothèse d'une reproductibilité des mouvements, et d'expressions liées à l'action dominante de certains muscles peauciers. En situation saine, la réalisation d'un mouvement attribué à un des muscles particuliers n'est donc pas garante de son existence anatomique. Cependant, en situation pathologique, c'est sur ce type de pratique clinique que se base l'évaluation.***

***Dans cette partie, nous apportons des éléments de caractérisation des mouvements sélectionnés de la mimique (voir chapitre II) à l'aide d'une analyse externe en situation saine. L'objectif de celle-ci est de mettre en place une analyse systématique des mouvements sélectionnés de la mimique, d'en vérifier sa fiabilité (reproductibilité des mouvements choisis, reproductibilité d'un examinateur utilisant la méthode d'analyse établie), et de la tester sur une population de sujets jeunes sans pathologie faciale.***

### **III.1 MATERIEL ET METHODES**

#### **III.1.1. Population étudiée**

Pour caractériser les mouvements sélectionnés de la mimique faciale, une population de 23 sujets volontaires a d'abord bénéficié d'un bref examen clinique de la face. Ce dernier reprend les grandes lignes d'un examen clinique standard. Cependant certains critères sont notés comme le type d'orbite (Lemaire et al.,2012), la présence d'une fossette jugale, l'équilibre facial et des éléments généraux poids, taille, sexe et antécédents traumatiques faciaux, ainsi que le « coté dominant facial » (Chevalier, 1990) (Voir Annexe 1).

Les consignes orales pour l'exécution des mouvements ont ensuite été testées de manière qualitative sur trois sujets parmi la population totale (SIMOVI LD, SIMOVI LB, et SIMOVI DP), puis sur un échantillon de la population totale de 14 sujets.

La population totale comprenait 14 femmes et 9 hommes de type caucasien, l'âge moyen était de 27,2 ans  $\pm$  2. Les principales caractéristiques cliniques faciales recueillies concernant cette population sont colligées dans le tableau III.1. L'échantillon comprenait 8 femmes et 6 hommes, la moyenne d'âge était de 28,07 ans  $\pm$  1,6.

Sujet SIMOVI	Age	Sexe	IMC	Forme Visage	équilibre	Sillon nasogénien			Fossette Jugale Dt G		Type d'orbite	Côté dominant	Classification Sourire	
						Repos	Sourire	Terminaison					Rubin	Tjan
CR	24	F	19,6	Transfrontale	Oui	Peu marqué	Droit	C	N	N	III	G	Canin	Haut
CN	30	F	19,1	Normofrontale	Oui	Présent	Droit	L	N	N	II	G	Mona Lisa	Moyen
FRS	27	M	21,4	Normofrontale	Oui	Peu marqué (asymétrie)	Droit	L	N	N	IB	D	Mona Lisa	Bas
JB	28	M	25	Cisfrontale	Oui	Peu marqué	Droit	L	N	N	III	G	Mona Lisa	Moyen
AA	27	F	26,2	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Droit	C	O	O	IA	G	Mona Lisa	Moyen
AC	29	M	24,7	Cisfrontale	Oui	Peu marqué	Droit/ Convexe	C	N	N	III	G	Mona Lisa	Moyen
CG	29	M	22,4	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Concave	C	N	N	II	G	Canin	Bas
LD	24	F	25,3	Transfrontale	Oui	Peu marqué	Droit	C	N	N	III	G	Canin	Bas
RL	28	M	20,8	Transfrontale	Non (EVA)	Peu marqué	X	X	N	N	II	G	Gingival	Moyen
FA	29	M	<25	Normofrontale	Oui	Présent	Concave	L	N	N	II	D	Gingival	Haut
FB	27	F	<25	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Convexe	L	N	N	III	G	Mona Lisa	Moyen
FC	25	F	<25	Transfrontale	Oui	Peu marqué	Droit	C	N	N	IA	G	Mona Lisa	Moyen
FD	25	M	<25	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Concave	L	N	N	III	G	Mona Lisa	Bas
FE	29	M	<25	Normofrontale	Oui	Présent	Concave	L	N	N	III	G	Mona Lisa	Haut
FF	30	F	<25	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Droit	L	N	N	IA	G	Mona Lisa	Bas
FI	29	F	<25	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Concave	L	N	N	II	G	Mona Lisa	Moyen
FJ	28	F	<25	Normofrontale	Oui	Présent	Droit/Convexe	L	N	N	III	D	Mona Lisa	Moyen
LN	26	F	20	Normofrontale	Oui	Présent	Droit	L	N	N	II	G	Gingival	Haut
NL	27	F	21,3	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Convexe	L	N	N	III	G	Mona Lisa	Bas
BT	24	F	26,2	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Concave	L	O	O	II	G	Mona Lisa	Haut
DP	30	F	20,2	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Droit	L	N	N	II	G	Mona Lisa	Haut
LB	27	F	19,1	Normofrontale	Oui			C			II	D	Canin	
GP	24	M	22,2	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC

Tableau III.1 : Caractéristiques cliniques des sujets inclus dans la cohorte

### **III.1.2. Matériel**

#### **III.1.2.A. Matériel d'Enregistrement Vidéoscopique**

Le matériel d'enregistrement vidéoscopique est disposé dans une pièce dédiée. Il s'agit :

- d'un caméscope numérique HD Sony HDR-FX1000 1080i/Mini DV, disposé sur un pied SONY VCT-R640.
- d'un tabouret placé devant un « fond de studio » en tissu noir.
- d'un kit d'éclairage complémentaire.

L'enregistrement est réalisé sur cassette <sup>Mini</sup>**DV**. Le caméscope emploie la norme HDV1080i, qui utilise 1080 lignes efficaces de numérisation, selon les normes HDV et enregistre des images à un débit d'environ 25Mbps. L'ensemble des rushs est conservé pour la traçabilité des données. Le format d'enregistrement est classique 24 images/s. La distance caméra-tabouret (50 cm) et la hauteur de la caméra sur le pied (52 cm) restent constantes pendant les acquisitions.

#### **III.1.2.B. Logiciel de traitement des enregistrements vidéoscopiques**

Le logiciel utilisé est le logiciel de montage FINALCUT Pro X version 10.0 sur Macbook Pro. La préparation d'un fichier vidéo nécessite 3 phases : 1. Importation ; 2. Traitement de l'image ; 3. Exportation. Les images sont importées depuis la caméra, et traitées dans ce logiciel. Celui-ci permet la sélection des plans à traiter, et de créer des ralentis instantanés en modifiant la vitesse de lecture dans le menu resynchronisation. Cette modification est exprimée en pourcentage de vitesse initiale. Lorsqu'un changement de vitesse est appliqué, la durée du plan est augmentée ou diminuée. Ainsi si une vitesse de 50% est choisie, alors la durée du plan est doublée, a contrario si la vitesse est de 200% alors la durée du plan est divisée par 2. Ce logiciel utilise la technologie du flux optique « slow motion » qui analyse l'image et scrute le mouvement de chaque pixel pour obtenir 2 informations : direction et vitesse, ainsi il recomposera les images manquantes lors du ralenti.

L'obtention de ralenti peut être également réalisée si le format de vitesse d'enregistrement est supérieur à 24 images par seconde alors que le format de vitesse de lecture reste inchangé. Ainsi si la vitesse d'enregistrement est de 72 images par seconde, et celle de lecture de 24 images par seconde alors le plan est déroulé avec un ralenti (x3).

L'ensemble des fichiers vidéo peut être exporté sous différents formats (Quicktime, Avi, MPEG4).

### III.1.3 Méthode

#### III.1.3. A. Description du protocole

##### III.1.3.A.a. Installation du sujet et Recueil de données d'examen clinique de la face au repos.

Le sujet est examiné assis sur un tabouret mains sur les genoux, devant « le fond de studio en tissu noir ». Un bandeau est placé sur la chevelure, en arrière de ligne d'implantation capillaire, afin de dégager le front. Les sujets féminins sont démaquillés. Les boucles d'oreilles sont ôtées. L'examineur se place en face du sujet, debout derrière le caméscope numérique et demande au sujet de regarder le point rouge situé sur le caméscope numérique. La face est éclairée de façon à ce qu'il n'y ait pas de zones d'ombres. Le cadrage est au format portrait.

##### III.1.3.A.b. Description des consignes orales

Avant l'énoncé des consignes, la position neutre dite mouvement 0 est redéfinie afin que l'examineur s'assure que la position de départ soit correcte avant chaque réalisation de mouvement. L'examineur énonce la consigne et montre lui-même le mouvement une fois après celle-ci.

Mouvement n° 0 : il s'agit de la position neutre. Cette position de départ du mouvement est commune aux cinq mouvements. Le sujet ne doit pas être ébloui, assis sur le tabouret, les épaules sont relâchées en position basse, dos droit. Le visage est détendu « sans expression », l'examineur invite le sujet à garder une expression neutre. L'examineur précise également au sujet qu'il doit garder les « yeux ouverts », le regard droit et qu'il peut diriger son regard vers la lumière rouge de la caméra, que les sourcils sont relâchés, qu'il ne doit pas avoir de crispation mentonnière. L'examineur vérifie que la mandibule du sujet est en position de repos, arcades dentaires légèrement desserrées 1 à 2 mm, lèvres en contact. Il stipule que le clignement palpébral naturel est autorisé.

Concernant le mouvement n°1 i.e. fermeture des paupières, la consigne donnée est la suivante : 1. Abaissez la paupière supérieure en conservant initialement le regard droit. Le mouvement doit être effectué tranquillement sans forcer.

Concernant le mouvement n°2 i.e. fermeture forcée des paupières, la consigne donnée est la suivante : 2. Abaissez la paupière supérieure en conservant initialement le regard droit en forçant le mouvement pour fermer au maximum les paupières.

Concernant le mouvement n°3 i.e. Froncement des lèvres sur le son O ([o])/ Protrusion labiale sur le son O ([o]), la consigne donnée est la suivante : 3. Prononcez la lettre O ([o]) ( sans

« tenir le son » mais en maintenant les lèvres dans leur position la plus protruse c'est à dire la plus poussée en avant).

Concernant le mouvement n°4 i.e. Froncement des lèvres forcé sur le son POU([pμ]), protrusion labiale sur le son POU ([pμ]), la consigne donnée est la suivante :4. Prononcez le son Pou (sans tenir le son mais en maintenant les lèvres dans leur position la plus protruse (la plus poussée en mouvement)).

Concernant le mouvement n°5 i.e Etirement des commissures en découvrant les dents, la consigne donnée est la suivante : 5.Souriez en découvrant les dents.

Concernant le mouvement n°6 i.e. sourire spontané, l'enregistrement de celui-ci est optionnel. Les enregistrements sont poursuivis tout au long de la séance afin d'essayer de capter des sourires spontanés (à la différence du sourire volontaire effectué sur consigne). En début de séance lorsque le sujet se concentre, l'examineur peut sourire au sujet examiné pour obtenir un sourire réponse ou entre 2 mouvements. Si ce sourire est obtenu il est noté comme étant le mouvement n°6.



Figure III.1 : photographie illustrant les mouvements en cours de réalisation n°0, 1, 2, 3, 4, 5 chez le sujet SIMOVI CN

### III.1.3.A.c. Recueil des données vidéoscopiques et méthode de traitement des images.

Selon le protocole établi ci-dessus, le sujet est filmé au format portrait lors de la réalisation des mouvements. Le volontaire réalise 3 répétitions de 5 mouvements de la mimique faciale : 1. Fermeture des paupières, 2. Fermeture forcée des paupières, 3. Protrusion labiale sur le son [o], 4. Protrusion labiale sur le son [pμ], 5. Etirement des commissures. Chacun des enregistrements est ensuite exporté dans FinalCUT Pro X afin de traiter les images et d'obtenir des fichiers avec un ralenti x5 (vitesse de lecture 20% de la vitesse initiale).

Chaque mouvement 1,2,3,4,5 possède 3 répétitions notées A,B,C, plus un ou plusieurs éventuels mouvements n°6. Après sélection des plans par mouvement, les répétitions sont isolées et sélectionnées à l'aide de l'onglet sélection de plage (fig III.2, III.3). Le plan obtenu est ensuite ralenti grâce à l'onglet de resynchronisation (fig III.4).



Figure III.2 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Sélection des plans par mouvement et isolement des répétitions.

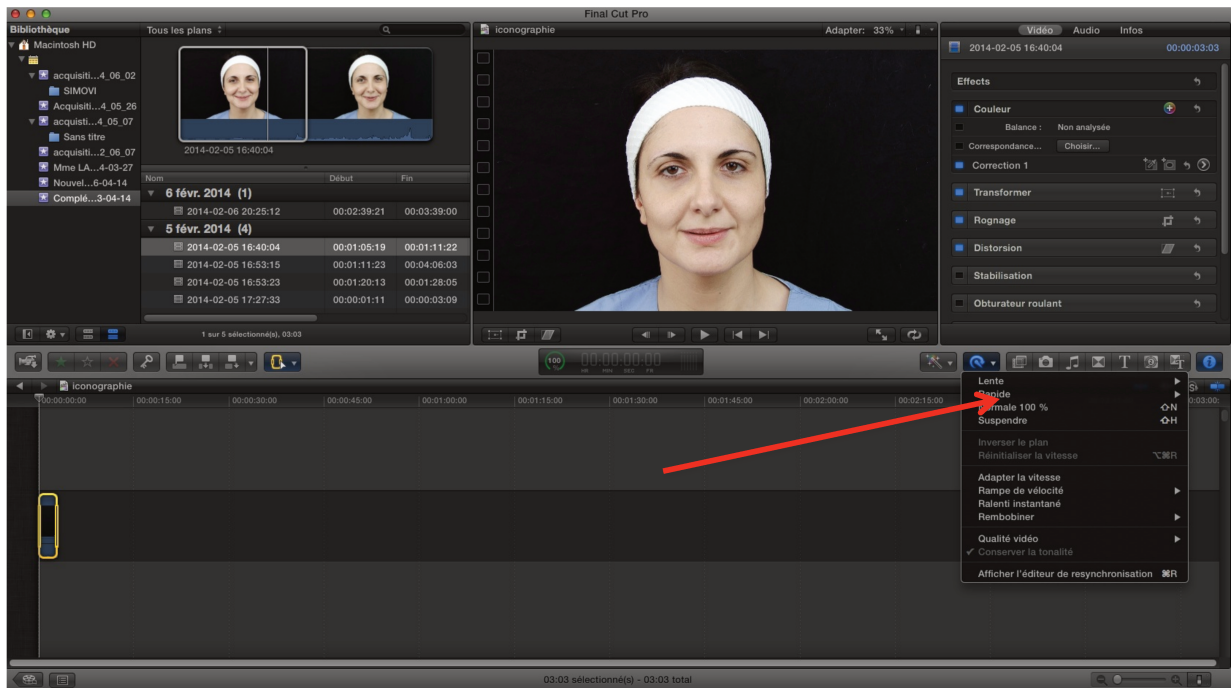


Figure III.3 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Modification de la vitesse.



Figure III.4 : Préparation des fichiers dans FinalCUT Pro X. Resynchronisation avec modification de la vitesse de lecture à 20%.

Ce fichier est ensuite exporté sous format Quicktime. Pour un sujet, au moins 15 fichiers sont obtenus : mouvement 1A, 1B, 1C, mouvement 2A,2B, 2C, mouvement 3A, 3B, 3C, mouvement 4A,4B,4C, mouvement 5A, 5B, 5C. Si un sourire spontané survient lors de l'enregistrement, il est noté mouvement 6.

### III.1.3.A.d. Codage FACS

A partir de « the Manual on CD rom » d'Ekman et Friesen (Ekman et al.,2002), nous nous sommes d'abord familiarisée avec le codage FACS. Le FACS est un système de taxinomie des expressions faciales. Il n'est pas utilisé en routine clinique. Il différencie chaque changement d'activité musculaire faciale sur la base d'unités minimales d'action (action unit : AU). C'est-à-dire que chaque mouvement est décomposé en actions musculaires unitaires se rapportant à l'action d'un muscle. Ce score établit une description détaillée des changements d'apparence cutanée faciale pour chaque AU. Nous avons réalisé notre propre tableau de correspondance entre les AU et l'anatomie faciale. La description des actions à repérer a été volontairement simple pour une diffusion à des personnes non coutumières de l'anatomie faciale (annexe 2).

Les cotations ont été établies pour les fichiers 1B, 2B, 3B, 4B, 5B des mouvements et des mouvements 6 pour certains sujets. Chaque cotation est notée par ordre d'apparition dans l'ordre chronologique, les actions co-occurentes sont notées successivement en privilégiant celles qui ont été repérées en premier par l'examineur.



### III.1.3.B. Méthodologie

#### III.1.3.B.a. Etude de la validité des consignes orales

Les consignes orales ont été testées sur 14 sujets volontaires ne connaissant pas le projet. Ils ont été filmés afin de vérifier si la consigne orale entraînait la réalisation du mouvement attendu (qualitatif). Le mouvement est coté 1 si le binôme chirurgien maxillo-facial, kinésithérapeute estime que le mouvement réalisé était bien celui qu'il attendait d'après la consigne, et 0 si le mouvement réalisé n'était pas celui attendu. Les hypothèses testées sur les consignes étaient les suivantes :

- Obtention d'un mouvement réalisé par le volontaire conforme au mouvement attendu par l'examineur dans plus de 90% des mouvements réalisés par la population test si l'on considère les consignes des mouvements n°1 à n°5 (hypothèse A).
- Obtention d'un mouvement réalisé par le volontaire conforme au mouvement attendu par l'examineur dans plus de 80 % des mouvements réalisés par la population test si l'on considère l'ensemble des consignes en incluant le mouvement n°6 (provoqué par une consigne comportementale) (hypothèse B)

#### III.1.3.B.b. Etude de la reproductibilité d'un examinateur utilisant le protocole

Pour tester la reproductibilité d'un examinateur utilisant la cotation, les fichiers B des mouvements 1,2, 3, 4, 5 et mouvement 6 de SIMOVI CR ont été analysés à différents instants T (T, T+10 semaines, T+13 semaines). Le coefficient de corrélation (kappa de fleiss,  $\kappa$ ) a été calculé pour déterminer la reproductibilité de l'examineur utilisant ce protocole ( $\kappa$  inférieur 0 : pas de concordance,  $\kappa$  compris entre : 0,01-0,20 faible concordance, entre 0,21-0,40 : légère concordance, entre 0,41-0,60 : concordance moyenne, entre 0,61-0,80 : concordance importante, entre 0,81-1 : concordance presque parfaite). Ce coefficient (Fleiss et al., 1973) est une mesure statistique qui évalue la concordance d'une ou plusieurs observations de données qualitatives attribuées au sein d'une même catégorie telle que:

$$\text{Kappa } \kappa = \frac{\text{Concordance observée} - \text{Concordance liée au Hasard}}{1 - \text{Concordance liée au Hasard}} \quad (\text{III.1})$$

L'évaluation de la reproductibilité intra-observateur pour chacun des mouvements peut donc s'exprimer comme la concordance (corrélation) entre les 3 observations analysées à T, T+10 semaines et T+13 semaines par mouvement notée  $\kappa_n$  tel que  $n \in [1, 6]$  et corresponde

respectivement à chacun des mouvements numérotés de 1 à 6. La reproductibilité moyenne intra-observateur a été calculée telle que :  $\Sigma \kappa_n / n$

### III.1.3.B.c. Etude de reproductibilité du protocole de réalisation du mouvement avec les consignes

Pour tester la reproductibilité de chacun des mouvements 1, 2, 3, 4, 5 les fichiers vidéos A, B et C du sujet SIMOVI CN ont été cotés. Le coefficient de corrélation (kappa de fleiss,  $\kappa$ ) a été calculé pour déterminer la reproductibilité de la réalisation du mouvement par le sujet. Chez le Sujet SIMOVI CN, le sourire spontané n'a pas été obtenu : 15 fichiers vidéos ont donc été analysés selon le protocole. L'évaluation de la reproductibilité du protocole de réalisation des mouvements pour chacun des mouvements peut donc s'exprimer comme la concordance (coefficient de corrélation) entre les cotations réalisées pour un même mouvement pour chacun des fichiers A, B, C.

### III.1.3.B.d Méthode d'analyse de données recueillies sur une cohorte de 21 sujets.

- Durée des séquences analysées et durée de réalisation des mouvements

La durée des séquences vidéoscopiques analysées a été notée en secondes, et les durées moyennes ont été calculées pour chacun des mouvements. Les durées de réalisation ont été déduites à partir des durées des séquences vidéoscopiques pour chacun des mouvements. En effet, un changement de vitesse de lecture (20% de la vitesse initiale d'enregistrement et donc de réalisation) est appliqué aux plans sélectionnés tel que nous l'avons décrit au paragraphe précédent (voir § III.1.3.A.c.). Ce changement de vitesse de lecture entraîne une augmentation de la durée de la séquence vidéographique. Ainsi :

$$\text{durée de réalisation du mouvement(s)} = \frac{\text{durée de la séquence vidéoscopique en s}}{5} \quad (\text{III.2})$$

- Nombre moyen d'AU et Fréquence des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte

A partir des tableaux de données (annexe 1), le nombre moyen d'AU et la fréquence des AU repérées pour chacun des mouvements ont été calculés.

- Répartition chronologique des AU en fonction du mouvement

Les cotations AU sont notées par ordre successif d'apparition, chronologique, lors de l'analyse, et le mouvement est décomposé en période  $T_1, T_2, T_3 \dots T_x$  en fonction du nombre d'AU repérées. Ces temps n'ont pas été définis à l'avance mais correspondent à l'ordre de visualisation des AU. Lorsque

des AU étaient co-occurentes, l'examineur a noté de façon subjective celle qu'il avait remarquée en premier. Nous pouvons proposer une estimation de la durée de ces temps (T), tel que

$$T = \frac{\text{durée de la séquence vidéoscopique pour le mouvement considéré en s/5}}{\text{Nombre D'AU repéré dans le mouvement considéré}} \quad (\text{III.3})$$

- Fréquence de l'AU 45 en fonction des mouvements

La fréquence d'apparition de l'AU 45 (qui correspond au clignement) a été étudiée dans chacun des mouvements. Ainsi le rapport du nombre d'AU 45 sur le nombre total d'AU a été calculé par mouvement. Une analyse statistique par un test de Fischer a été réalisée afin d'appréhender s'il y avait une différence significative dans l'apparition de cette AU entre les mouvements.

- Fréquence de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 & 6) et de l'AU 25 dans le mouvement 6.

La fréquence d'apparition de l'AU 6 (qui correspond à la contraction de la pars orbitalis de l'orbicularis oculi avec apparition des rides de la patte d'oie marquée) a été étudiée dans les mouvements 5 et 6. Une analyse statistique par un test de Fischer a été réalisée afin d'appréhender s'il y avait une différence significative dans l'apparition de cette AU entre le mouvement 5 (sourire volontaire) et le mouvement 6 (sourire spontané).

La présence de l'AU 25 (qui correspond à une position lèvres non en contact avec un relâchement de l'orbiculaire des lèvres) dans le mouvement 6 a été étudiée.

- Corrélation entre type d'orbite et présence fréquente de l'AU 45 (clignement)

En déterminant le nombre d'AU 45 (clignement), pour chacun des mouvements et par type d'orbite, une corrélation a été recherchée en calculant le coefficient de Spearman. Pour les besoins de l'analyse les types d'orbite ont été considérés comme une variable ordinale i.e (0 à 3) avec Ia<Ib<II<III.

- Combinaison chronologique la plus fréquente d'AU pour chacun des mouvements

A partir des précédents résultats, nous proposons la combinaison d'AU qui semble la plus pertinente en fonction de chaque mouvement.

## III.2. RESULTATS

### III.2.1. Validité des consignes orales

Sur l'échantillon de 14 sujets, pour l'hypothèse A, le pourcentage de réalisation du mouvement attendu est de (69/70) 98,6% avec un intervalle de confiance de [93% ; 100%]. Ce pourcentage est statistiquement supérieur à la valeur de 90% ( $p=0.0055$  ; avec le test binomial) mais pas à la valeur de 95% ( $p=0.1292$ ). Pour l'hypothèse B, le pourcentage de réalisation du mouvement attendu est de (80/84) 95,23% avec un intervalle de confiance égale à [89% ; 100%]. Sur notre échantillon, ce pourcentage est statistiquement supérieur à la valeur de 80% ( $p<0.0001$ ) mais pas à 90% au seuil de 5% ( $p=0.0685$ ).

Pour l'obtention du sourire spontané, ce mouvement est réalisé dans 11 cas sur 14 (78,6%), avec un intervalle de confiance de [53% ; 100%]. Il n'est statistiquement significatif que pour un pourcentage d'obtention sur l'effectif de 50% ( $p=0.0267$ )

Volontaires	Age	Sexe	Mvt n°1	Mvt n°2	Mvt n°3	Mvt n°4	Mvt n°5	Mvt n°6
SIMOV FA	29	M	1	1	1	1	1	1
SIMOV FB	27	F	1	1	1	1	1	0
SIMOV FC	25	F	0	1	1	1	1	0
SIMOV FD	25	M	1	1	1	1	1	1
SIMOV FE	29	M	1	1	1	1	1	1
SIMOV FF	30	F	1	1	1	1	1	1
SIMOV FI	29	F	1	1	1	1	1	1
SIMOV FJ	28	F	1	1	1	1	1	1
SIMOV DP	30	F	1	1	1	1	1	1
SIMOV LB	26	M	1	1	1	1	1	1
SIMOV JB	28	M	1	1	1	1	1	1
SIMOV FRS	27	M	1	1	1	1	1	0
SIMOV CN	30	F	1	1	1	1	1	1
SIMOV AC	29	M	1	1	1	1	1	1

Tableau III.2 : Tests de la consigne orale sur 10 sujets volontaires sains ne connaissant pas le projet

Après avoir réalisé ces premiers tests, nous avons donc estimé qu'avec un risque d'erreur  $\alpha \leq 0,05$ , les consignes orales entraînent la réalisation du mouvement attendu dans plus de 93% pour les mouvements de 1 à 5, et dans plus de 89% pour les mouvements de 1 à 6. Le protocole d'examen a été expérimenté sur une population de sujets témoins inclus dans le protocole.

### III.2.2. Reproductibilité d'un examinateur utilisant les consignes orales

Les principaux résultats sont colligés dans le tableau III.3. La reproductibilité est importante à presque parfaite pour les mouvements 1,2,4,6 et moyenne pour les mouvements 3 et 5.

Mouvement observé	$\kappa$	95% IC	Concordance
1	1	0,18-1,82	Presque parfaite
2	0,66	0,49-0,84	Importante
3	0,54	0,41-0,67	Moyenne
4	0,66	0,52-0,80	Importante
5	0,45	0,32-0,59	Moyenne
6	0,8	0,69-0,91	Presque parfaite

Tableau III.3 : Coefficient de corrélation Kappa entre différentes observations d'un même fichier vidéoscopique par un observateur identique et interprétation pour chacun des mouvements

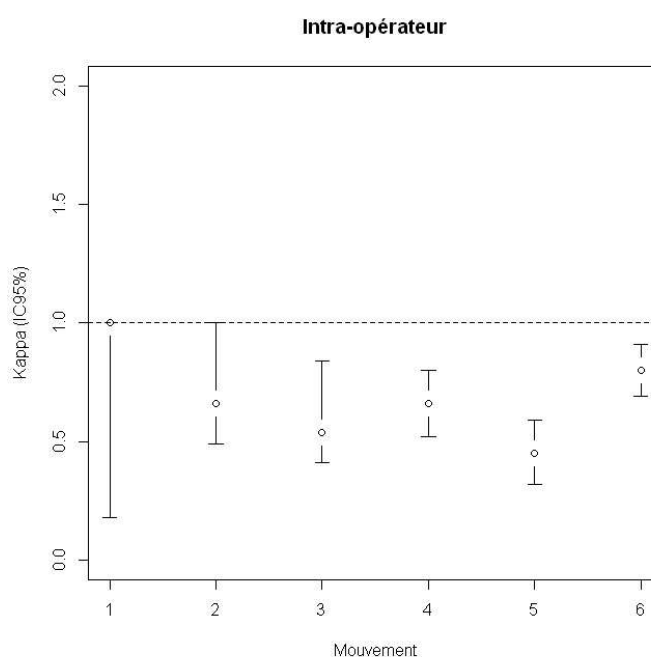


Figure III.6: Reproductibilité intra-observateur en fonction du mouvement

### III.2.3. Reproductibilité d'un sujet réalisant le protocole de mouvements

Les principaux résultats sont colligés dans le tableau III.4. La reproductibilité est presque parfaite pour la réalisation des mouvements 1 et 2, elle est importante pour les mouvements 3 et 5 et moyenne pour le mouvement 4.

Mouvement réalisé	$\kappa$	95% IC	Concordance
1	1		Presque parfaite
2	1	0,67-1	Presque parfaite
3	0,78	0,60-0,95	Importante
4	0,56	0,39-0,73	Moyenne
5	0,78	0,60-0,95	Importante

Tableau III.4 : Coefficient de corrélation Kappa entre plusieurs fichiers videos A,B,C d'un même mouvement réalisé par le même volontaire et interprétation pour chacun des mouvements

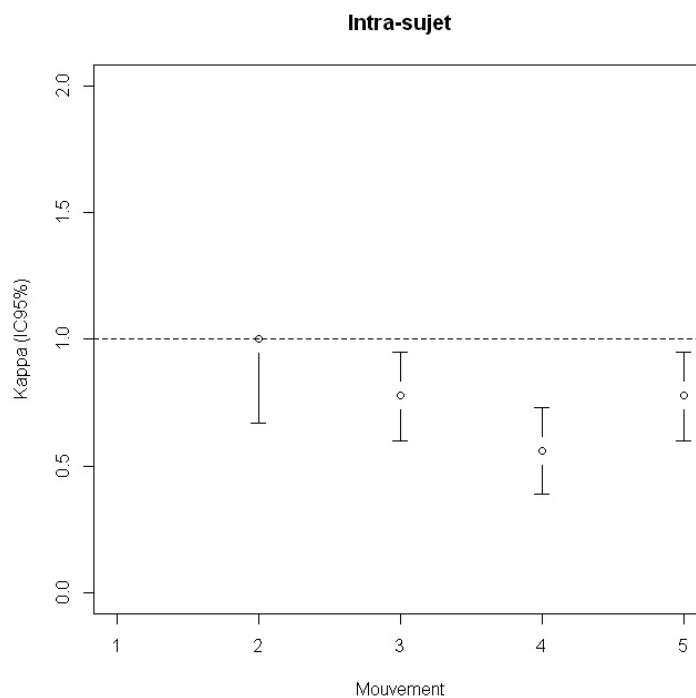


Figure III.7 : Reproductibilité du mouvement par le sujet

### III.2.4 Résultats de l'analyse des données recueillies sur une cohorte

Dans cette partie, nous exposons les résultats de l'analyse des données disponibles sur une cohorte de 21 sujets volontaires (13 femmes, 8 hommes, moyenne d'âge  $27,4 \pm 2$  ans , 21 premiers sujets du tableau III.1). Nous présentons la durée moyenne des séquences vidéographiques analysées,

desquelles ont été déduites les temps moyens d'exécution des mouvements 1,2,3,4,et 5, la variation du nombre d'AU observées en fonction des sujets et du mouvement, ainsi que le nombre moyen d'AU caractéristique d'un mouvement donné sur cette cohorte, le numéro des AU les plus fréquemment observées par mouvement sur l'ensemble de la cohorte, la répartition chronologique des AU en fonction du mouvement et les combinaisons chronologiques les plus fréquentes pour les mouvements 1,2,3,4,5.

#### III.2.4.A. Durée moyenne des séquences vidéographiques analysées

La durée moyenne des séquences vidéoscopiques des mouvements analysés varie entre  $10,7 \pm 2,6$  s (mouvement 1) et  $16,2 \pm 3,7$ s (mouvement 2). Les séquences des mouvements 3 et 4 (Protrusion labiale) sont plus courtes que celles des mouvements de fermeture des paupières et d'étirement des commissures (Fig.III.8).

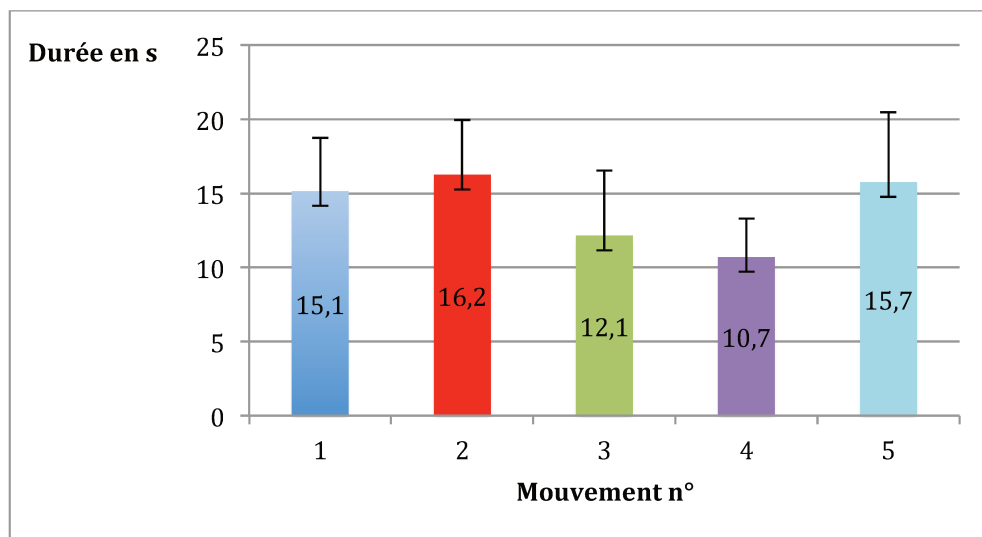


Figure III.8 : Durée moyenne de la séquence analysée en fonction du mouvement

#### III.2.4.B. Durée moyenne de réalisation de chacun des mouvements

La durée moyenne de réalisation des mouvements est courte, de l'ordre de 2 à 3 secondes (Fig.III.9). Pour le mouvement 1 elle est de  $3,0 \pm 0,7$ s, de  $3,2 \pm 0,7$ s pour le mouvement 2, de  $2,4 \pm 0,9$ s pour le mouvement 3, de  $2,1 \pm 0,5$ s pour le mouvement 4, de  $3,1 \pm 0,9$ s pour le mouvement 5. Les mouvements de protrusion labiale (mouvement 3 et 4) sont de réalisation plus rapides que les mouvements de fermeture des paupières et d'étirement des commissures (mouvement 1, 2, et 5).

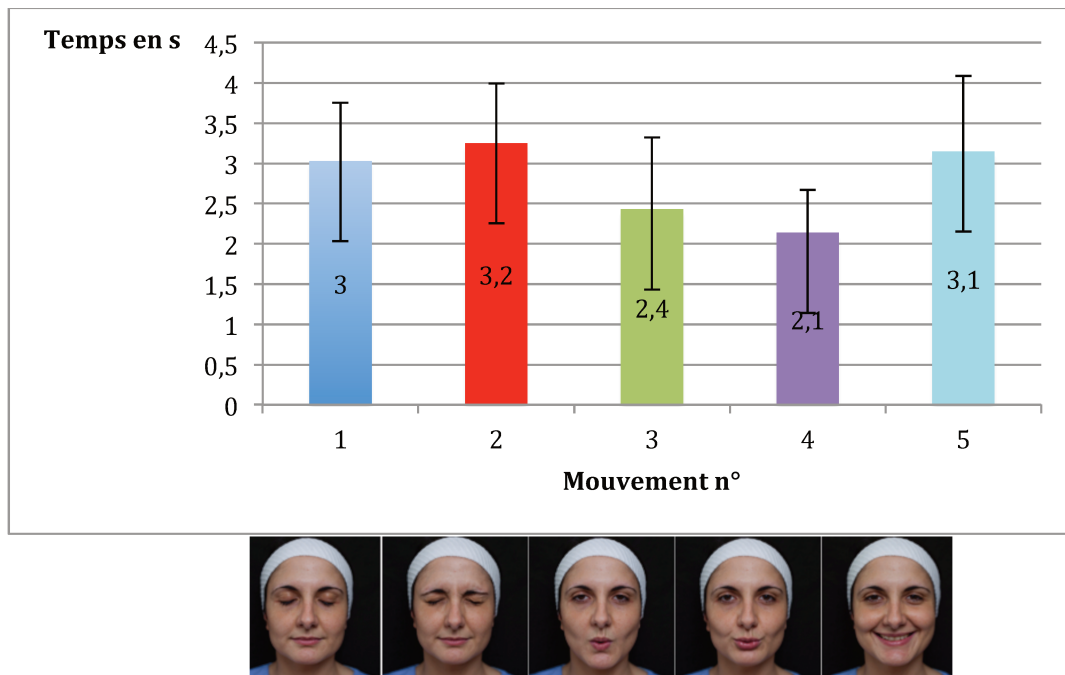


Figure III.9 : Durée moyenne en secondes de l'exécution du mouvement en fonction de chacun des mouvements

#### III.2.4.C. Nombre et Moyenne des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte

Le nombre d'AU varie pour chaque mouvement en fonction des sujets. Ainsi pour le mouvement 1, le nombre d'AU varie de 1 à 4, pour le mouvement 2, 3 et 5 celui-ci varie de 3 à 8, pour le mouvement 4 il varie de 4 à 9, pour le mouvement 6 (sourire spontané, cf § III.1.3.A.b) il varie de 3 à 12 (Fig.III.10).



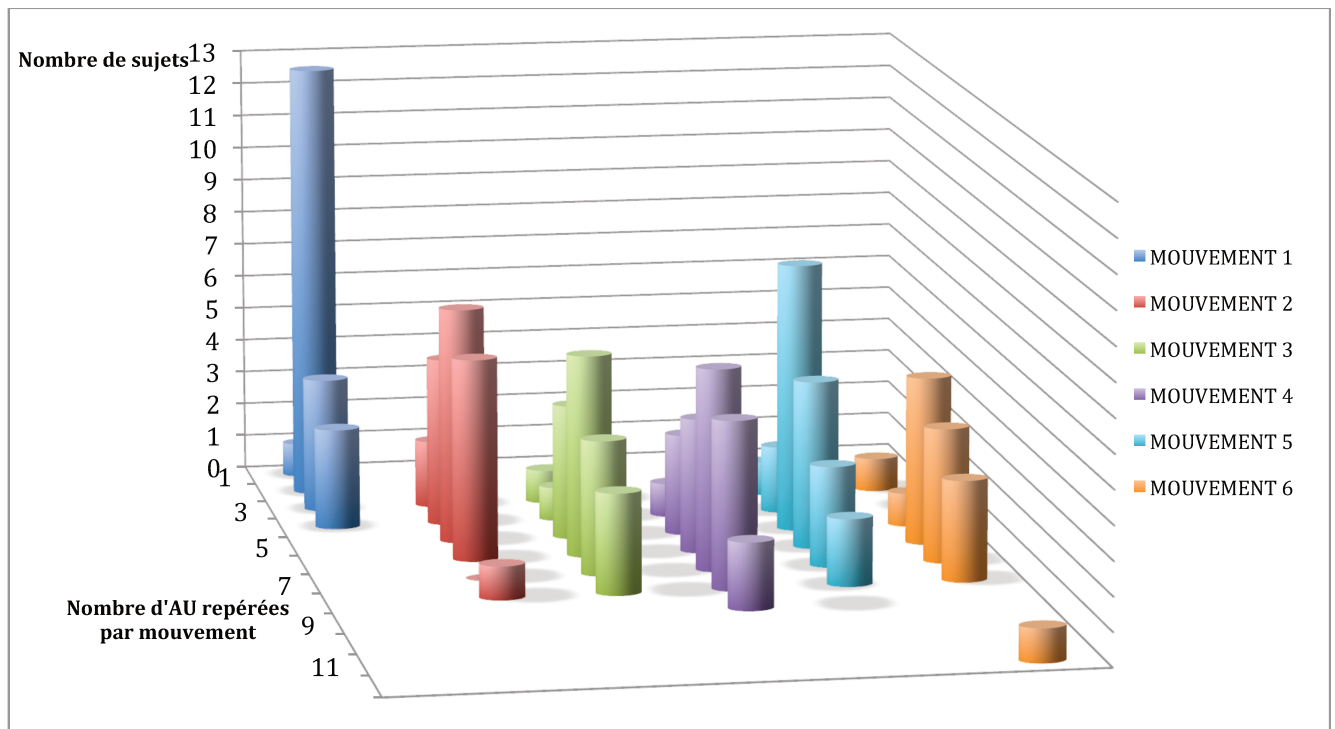


Figure III.10 : Répartition des sujets de la cohorte en fonction du nombre d'AU par mouvement

Le nombre moyen d'AU par mouvement a été calculé. Celui-ci varie de  $2,4 \pm 0,7$  (mouvement 1) à respectivement  $6,8 \pm 1,3$  (mouvement 4),  $6,8 \pm 1,8$  (mouvement 6) (Fig.III.11)

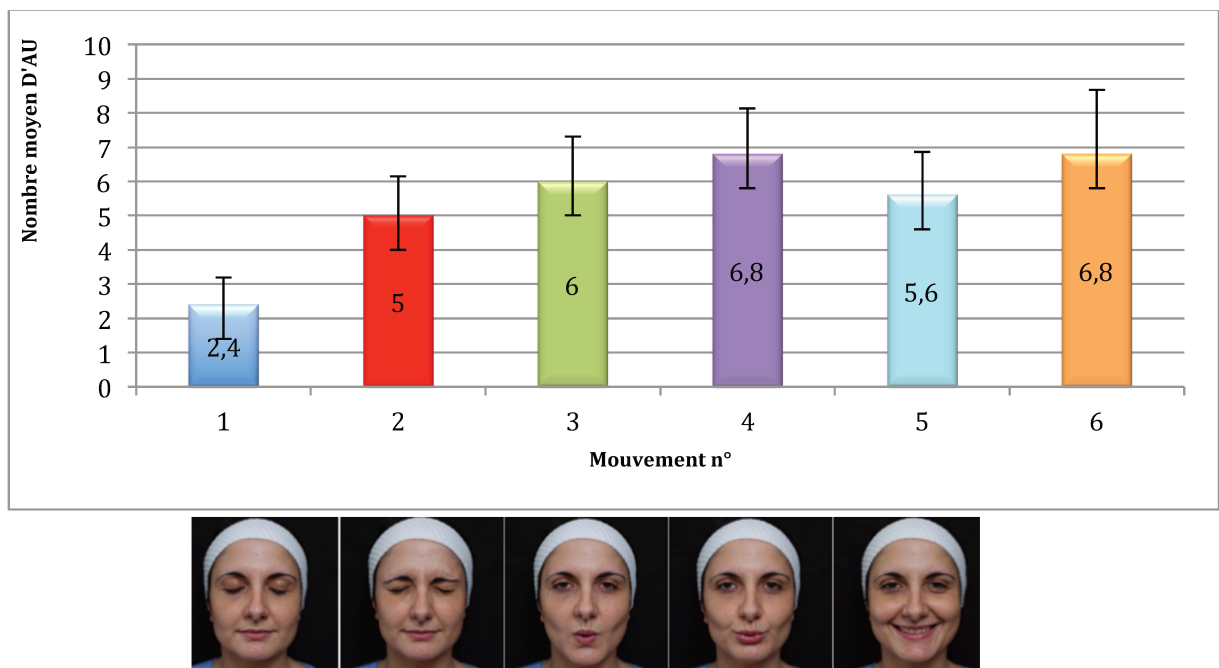


Figure III.11 : Nombre moyen d'AU par mouvement.

D'après ces 2 graphiques en arrondissant à l'unité supérieure ou inférieure, les décimales d'AU ne pouvant pas être interprétées, le mouvement 1 se caractérise par 2 AU, le mouvement 2 par 5

AU, le mouvement 3 par 6 AU, le mouvement 4 par 7 AU, le mouvement 5 par 6 AU et le mouvement 6 par 7 AU.

### III.2.4.D. Fréquence des AU repérées pour un mouvement donné sur l'ensemble de la cohorte

#### III.2.4.D.a Mouvement 1

Les AU (numéro des AU, voir annexe 2) les plus fréquemment observées dans le mouvement 1 sont :

-AU 7 (41,2%) (contraction de la pars palpebralis de l'orbiculaire oculi avec élévation du bord libre palpébral inférieur et rétrécissement de la fente palpébrale/ Orbiculaire des paupières (pars palpebralis)

-AU 43 (contact entre les 2 bords libres palpébraux. Fermeture des paupières sans forcer) (56,7%) (Fig.III.12).

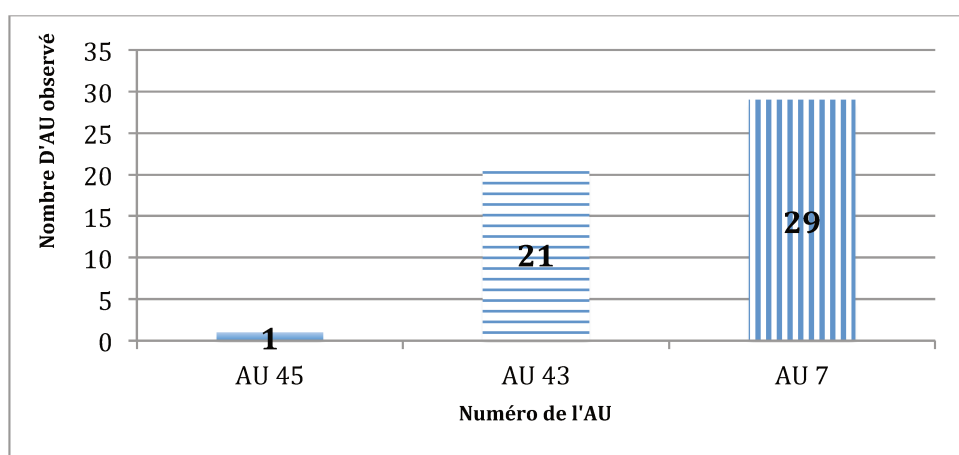


Figure III.12: répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte (n=21)

#### III.2.4.D.b.Mouvement 2

Les AU (numéro des AU, voir annexe 2) les plus fréquemment observées dans le mouvement 2 sont les suivantes (Fig.III.13).:

-AU 4 (20%) (abaissement du sourcil, apparition de rides glabellaires horizontales/corrugator, depressor supercillii, pyramidal) ,

-AU 43 (20%),

-AU 6 (20%)(contraction de la pars orbitalis de l'orbicularis oculi avec apparition de rides de la patte d'oie marquées, Orbiculaire des paupières (pars orbitalis))

-AU 7 (17,1%),

-AU 9 (Apparition de rides paralatéronasales/ froncement de la peau paralatéronasale, Releveur de la lèvre et de l'aile du nez) (11,4%)

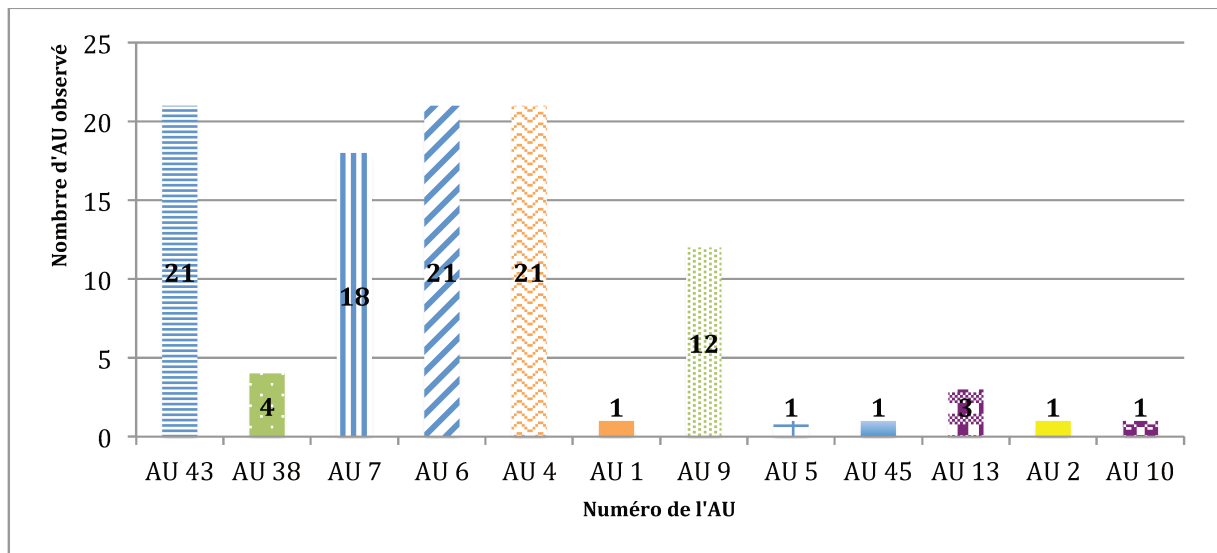


Figure III.13 : répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte (n=21)

#### III.2.4.D.c. Mouvement 3

Le numéro des AU les plus fréquemment observées dans le mouvement 3 (Fig.III.14) sont les suivantes:

- AU 18 (17,6%), (Protrusion labiale. Les lèvres forment un O, contraction Orbicularis Oris)
- AU 25 (16,7%), (Absence de contact des vermillons labiaux, relâchement Orbicularis Oris)
- AU 39 (15,7%), (compression des narines, abaissement du pied d'aile ou du seuil narinaire, transverse fibres transversales, myrtiliforme)
- AU 45 (14,8%), (réflexe de clignement, Relaxation releveur supérieure de la lèvre et contraction de la pars palpebralis de l'orbiculaire des paupières)
- AU 26 (13%), (ouverture buccale non active par relâchement des élévateurs de la mandibule)
- AU 23 (10,2%) (compression des lèvres, Orbiculaire Oris)

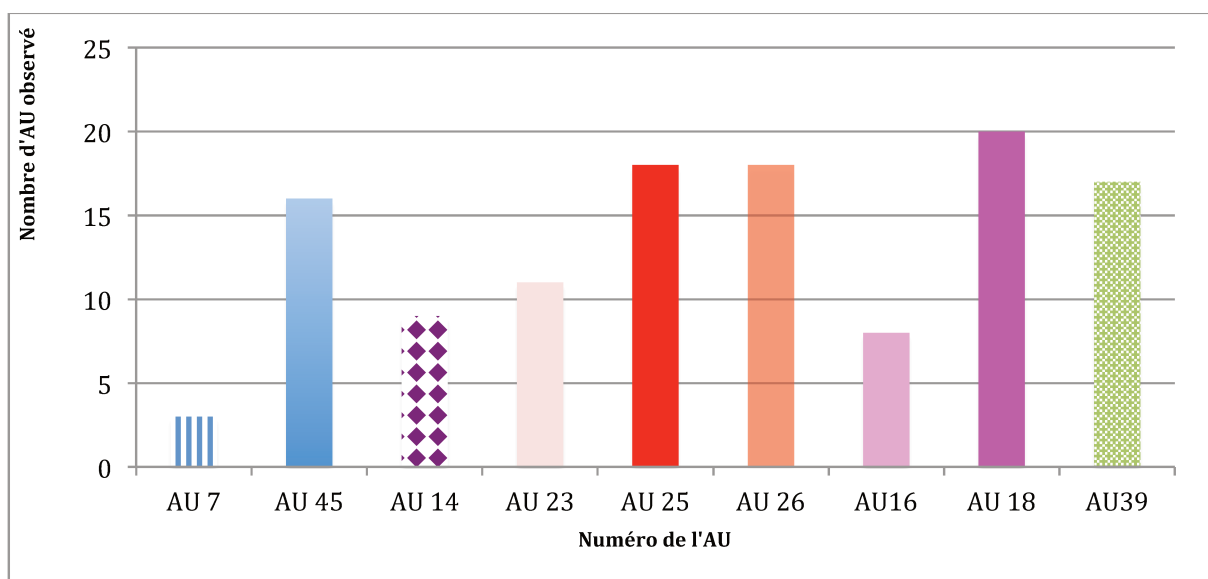


Figure III.14 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte (n=20)

### III.2.4.D.d. Mouvement 4

Les AU (numéro des AU, voir annexe 2) les plus fréquemment observées dans le mouvement 4 sont les suivantes (Fig. III.15):

- AU 25 (16,8%),
- AU 23 (14,7%),
- AU 18 (14%),
- AU 16 (Abaissement de la lèvre inférieure / lèvre inférieure retroussée) et AU 26 (10,7%),
- AU 39 (9,7%),
- AU 45 (9,1%)

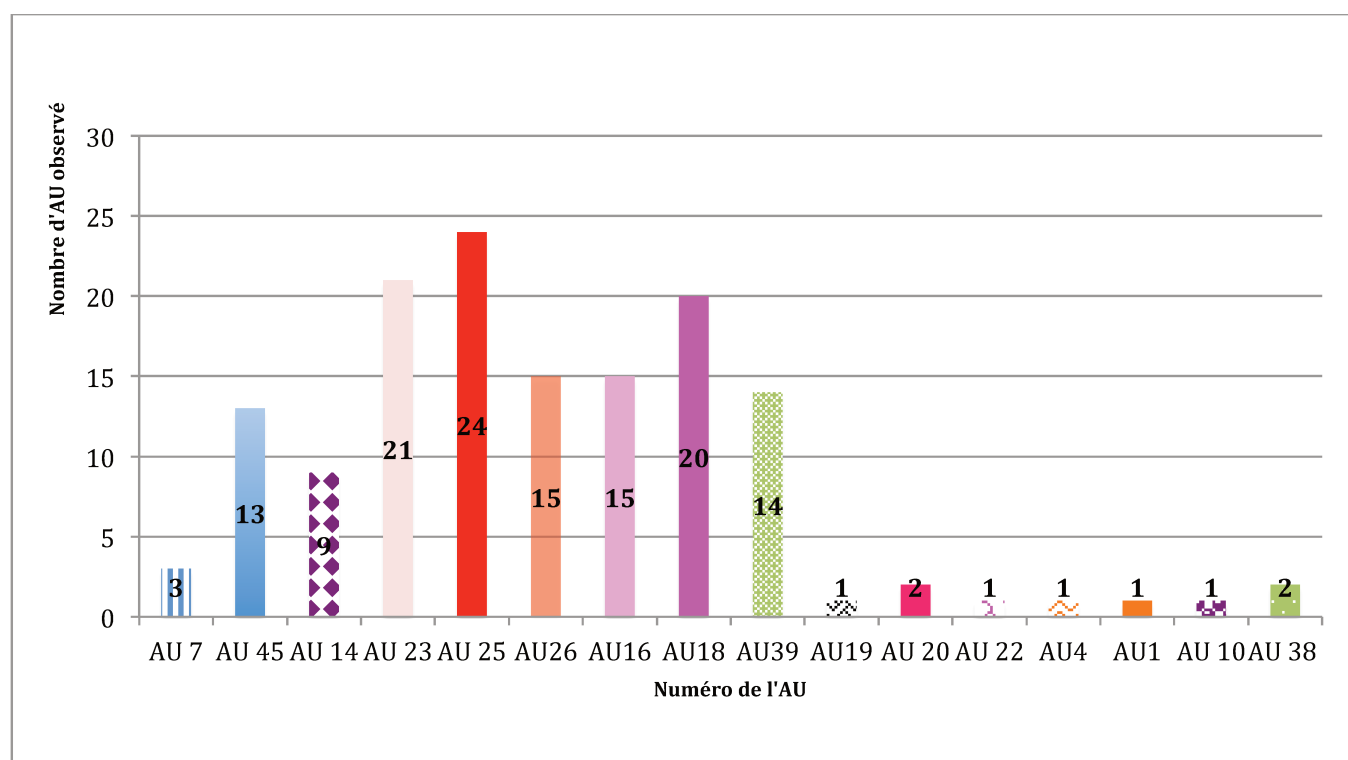


Figure III.15 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte (n=21)

### I III.2.4.D.e .Mouvement 5

Les AU (numéro des AU, voir annexe 2) les plus fréquemment observées dans le mouvement 5 sont les suivantes (Fig.III.16):

- AU 45 (17,8%),
- AU 25 (16,9%),
- AU 12(17,8%), (Etirement des commissures vers le Haut, Grand Zygomatique)
- AU 13(11,8%) (Elévation de lèvre supérieure en découvrant les incisives, augmentation de volume au dessus du sillon nasogénien, releveur de la lèvre supérieure)

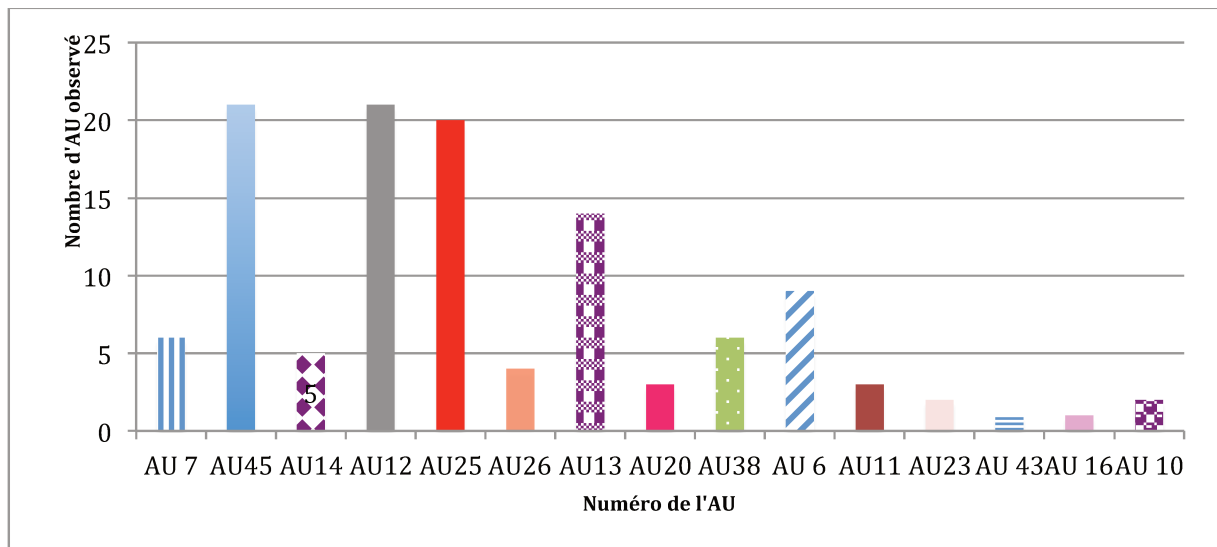


Figure III.16 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte (n=21)

#### III.2.4.D.f. Mouvement 6

Les AU (numéro des AU, voir annexe 2) AU les plus fréquemment observées dans le mouvement 6 sont les suivantes (Fig.III.17):

- AU 45 (13,7%),
- AU 12 (13,7%),
- AU 6 (13,7%),
- AU 13 (13,7%),
- AU 25 (11,8%).

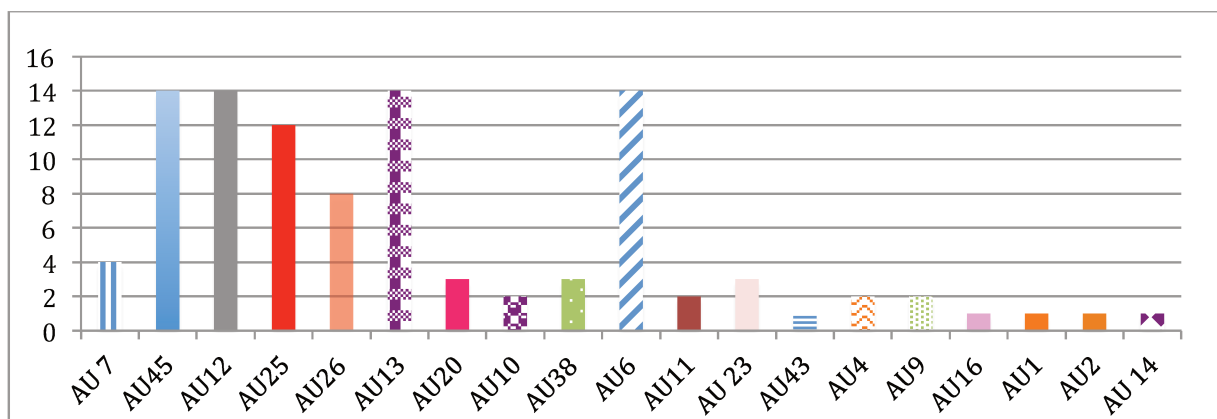


Figure III.17 : Répartition des AU repérées lors de la réalisation du mouvement 6 sur l'ensemble de la cohorte (n=15)

#### III.2.4.E. Répartition chronologique des AU en fonction du mouvement

Les estimations en seconde des découpages en instant T de la séquence du mouvement sont respectivement pour le mouvement 1 : 1,26 s, pour le mouvement 2 : 0,65s, pour le mouvement 3 :

0,4s, pour le mouvement 4 :0,31s et pour le mouvement 5 : 0,56s.

En rapport avec les résultats précédents (Fig. III.11), nous avons considéré pour la répartition chronologique des AU observées : les 2 premiers instants pour le mouvement 1, les 5 premiers pour le mouvement 2, les 6 premiers pour le mouvement 6, les 7 premiers pour le mouvement 7 et les 6 premiers pour le mouvement 5. Cette répartition en fonction du mouvement est la suivante.

### III.2.4.E.a Mouvement 1

Pour le mouvement 1, aux deux premiers instants, ce sont l'AU 7 et l'AU 43 (abaissement de la paupière supérieure, contact des 2 bords libres palpébraux) qui sont visualisées (Fig.III.18), avec une nette prédominance de l'AU 7 (71%) à l'instant T<sub>1</sub> (Fig.III.19), et de l'AU 43 (75%) à l'instant T<sub>2</sub> (Fig.III ;20).

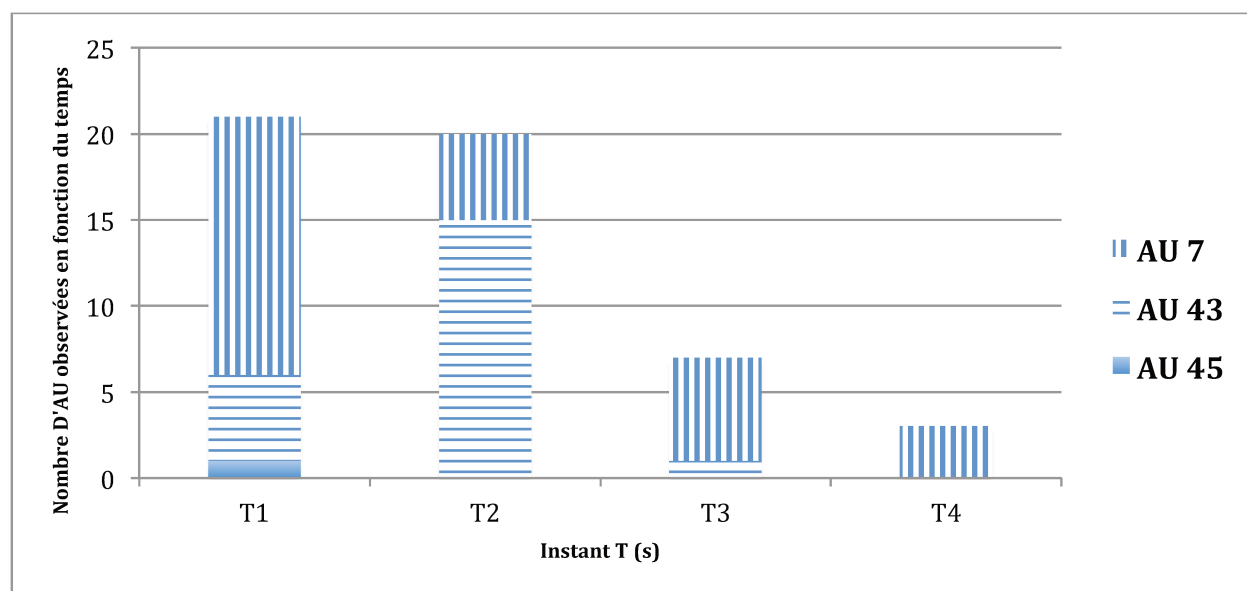


Figure III.18 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 1 en fonction du temps, T étant estimé à 1,26 s

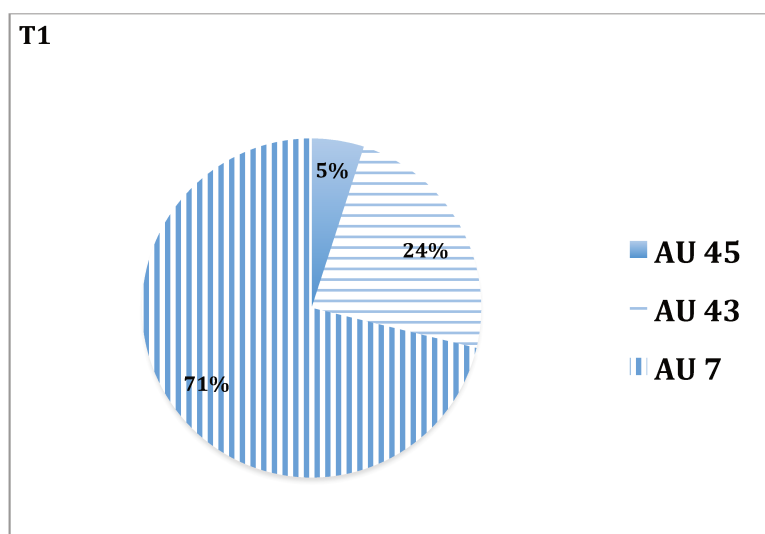


Figure III.19 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte.

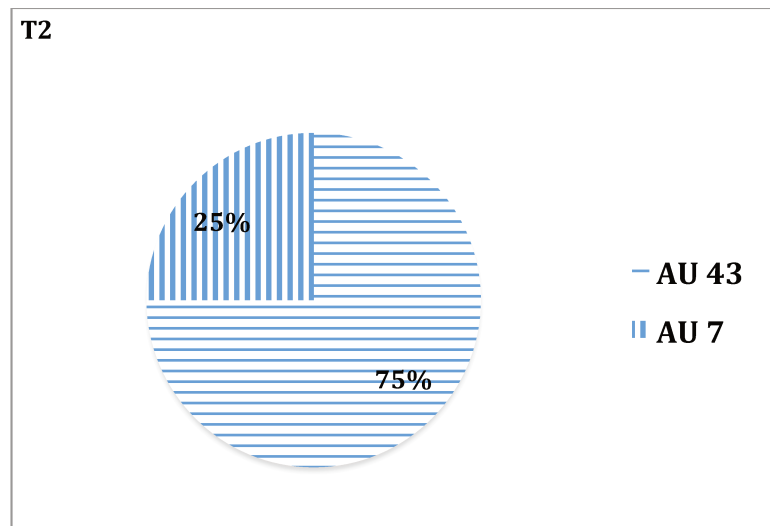


Figure III.20 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 1 sur l'ensemble de la cohorte.

### III.2.4.E.b Mouvement 2

Pour le mouvement 2, la répartition chronologique des AU est colligée dans la figure ci-dessous (Fig III.21). C'est l'AU 7 qui est observée à l'instant T<sub>1</sub> de façon prédominante (45%) (Fig. III.22), suivie par l'AU 43 à l'instant T<sub>2</sub> (48%) (Fig. III.23) et T<sub>3</sub> (30%) (Fig. III.24), l'AU 4 à l'instant T<sub>4</sub> (56%) (Fig. III.25) et l'AU 9 à l'instant T<sub>5</sub> (46%) (Fig. III.26). A l'instant T<sub>3</sub>, la prédominance de l'AU 43 n'est pas majeure 30% alors que les AU 7 et AU 6 sont représentées à 25 % (Fig III.23).

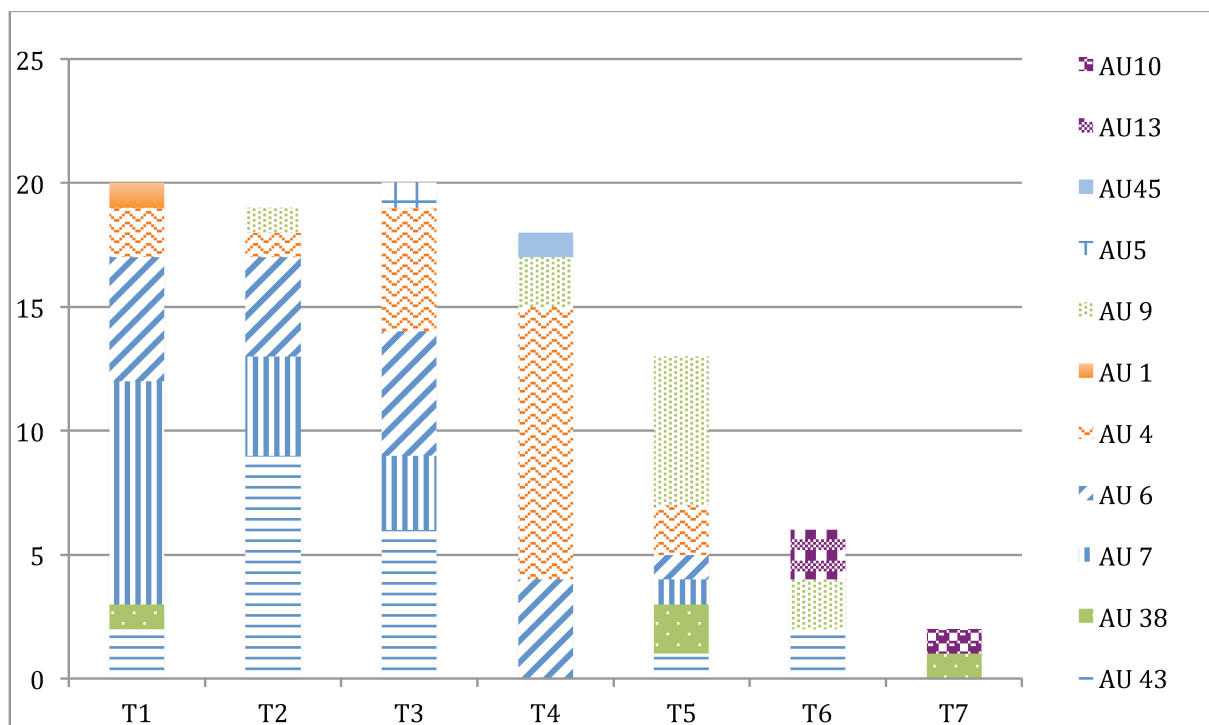


Figure III.21 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 2 en fonction du temps, T étant estimé à 0,65s



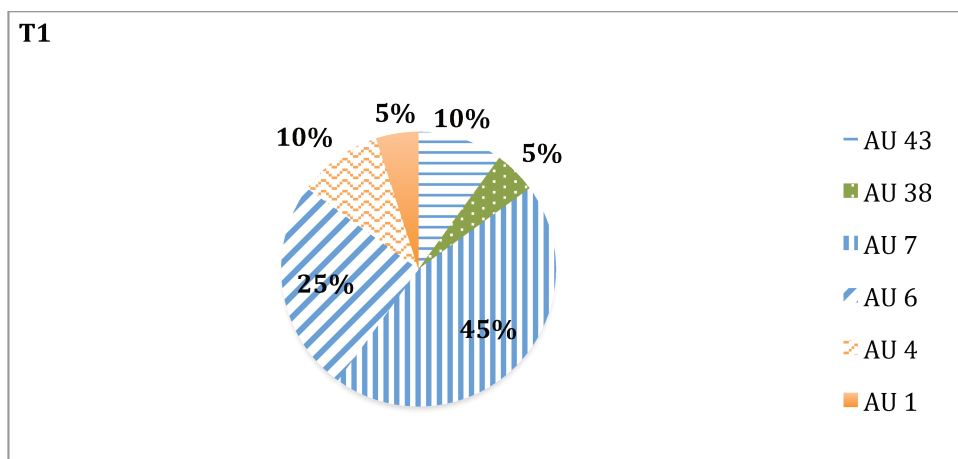


Figure III.22 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.

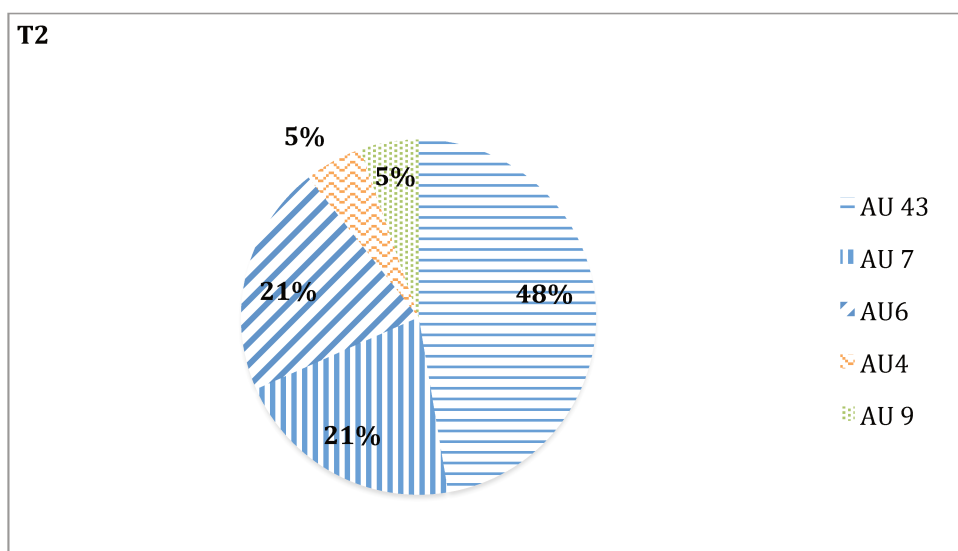


Figure III.23 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.

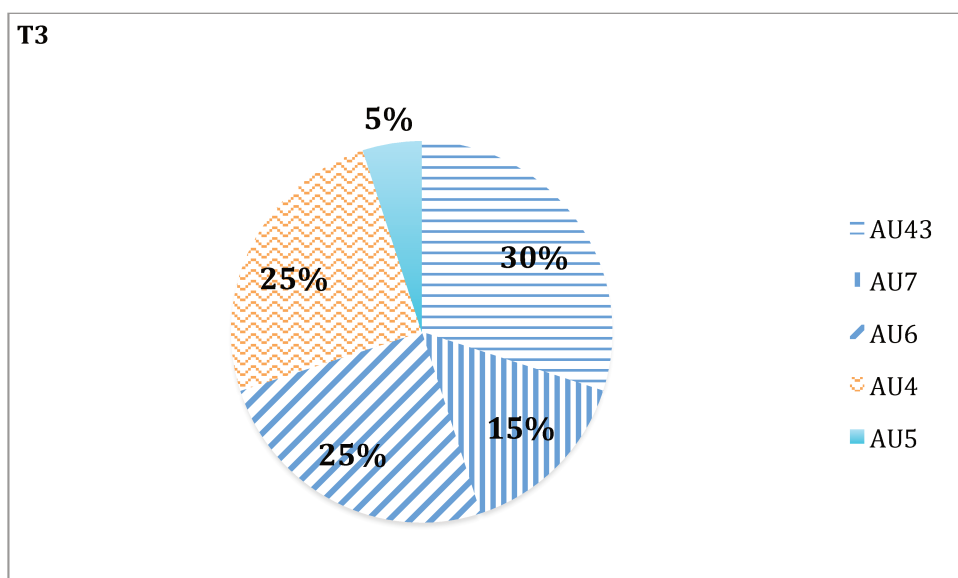


Figure III.24 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.

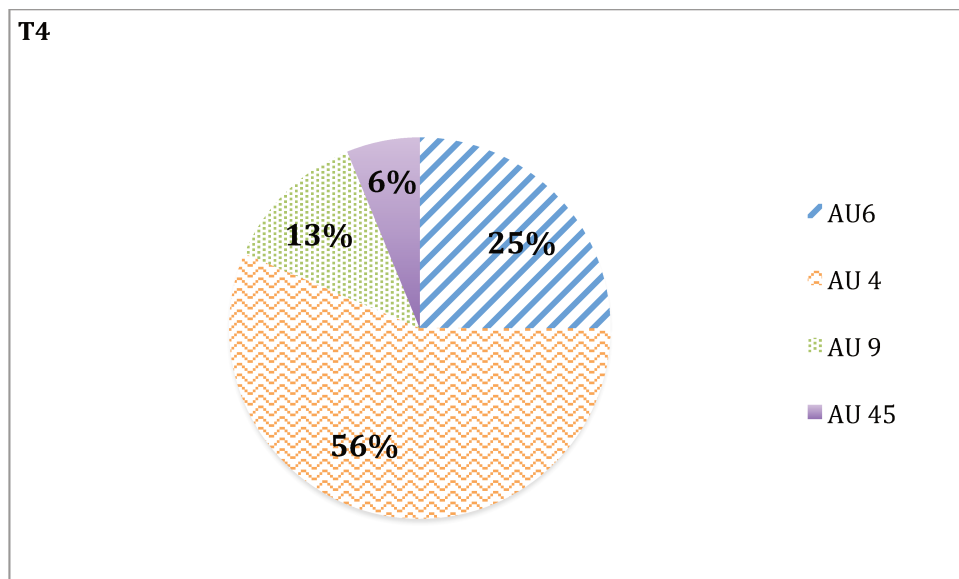


Figure III.25 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.

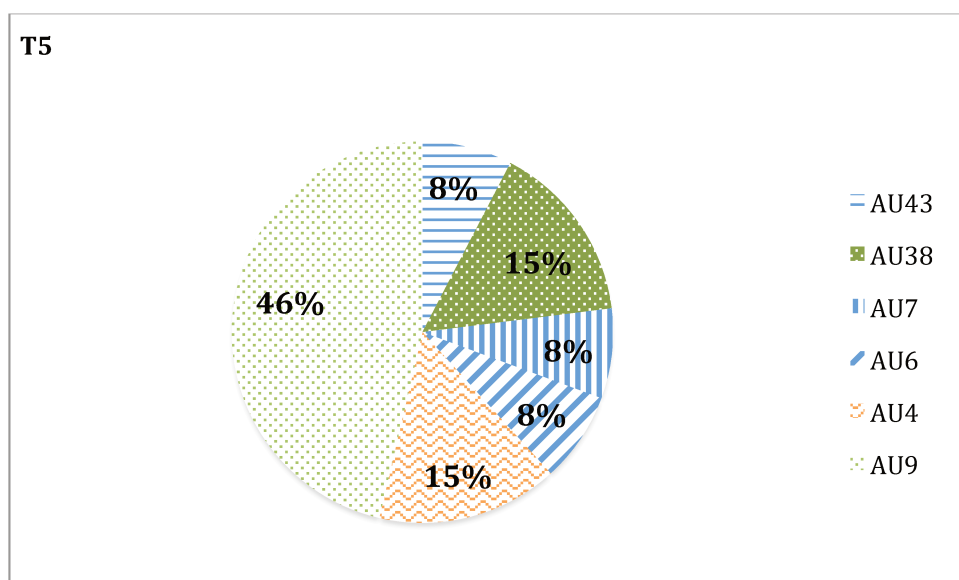


Figure III.26 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 2 sur l'ensemble de la cohorte.

### III.2.4.E.c. Mouvement 3

Pour le mouvement 3, la répartition chronologique des AU est colligée dans la figure ci-dessous (Fig III.27). l'AU 25 (48%) est observée le plus fréquemment à l'instant T<sub>1</sub> (Fig. III.28) suivie par l'AU 26 (48%) à l'instant T<sub>2</sub> (Fig. III.29), l'AU 18 (37%) à l'instant T<sub>3</sub> (Fig. III.30), l'AU 39 (44%) à l'instant T<sub>4</sub> et T<sub>5</sub> (Fig. III.31 & Fig III.32), l'AU 23 et AU 45 (25%) à l'instant T<sub>6</sub>.

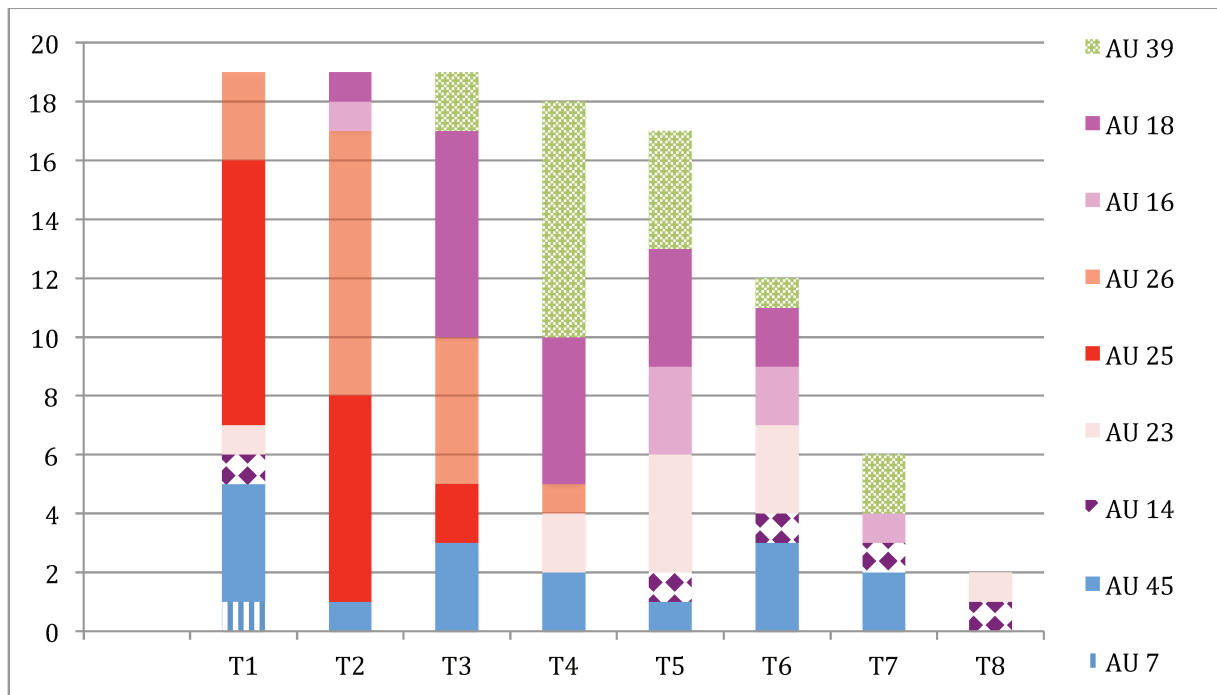


Figure III.27 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 3 en fonction du temps, T étant estimé à 0,4s

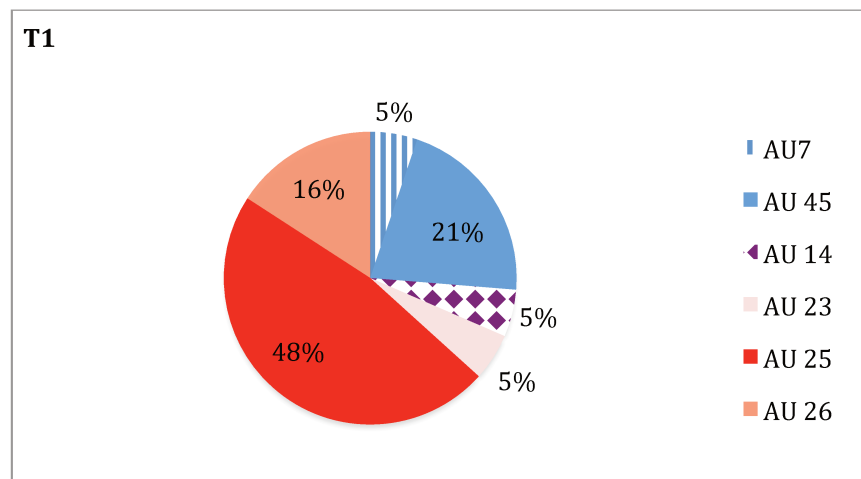


Figure III.28 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.

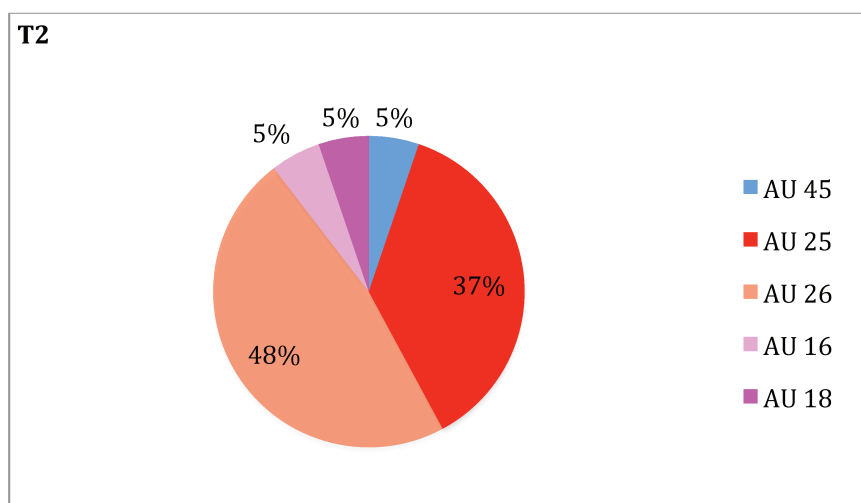


Figure III.29 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.

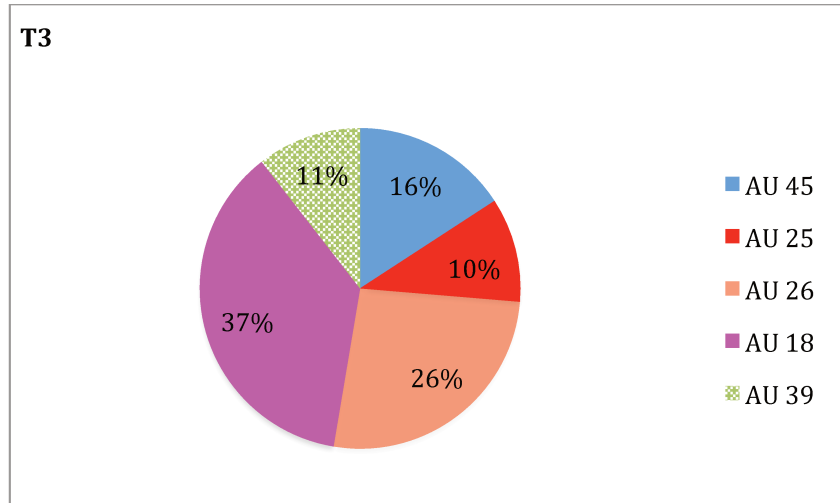


Figure III.30 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.

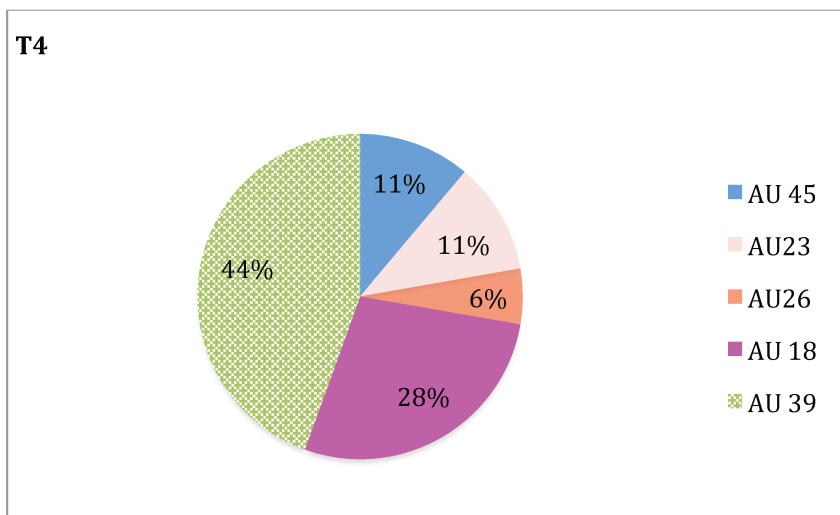


Figure III.31 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.

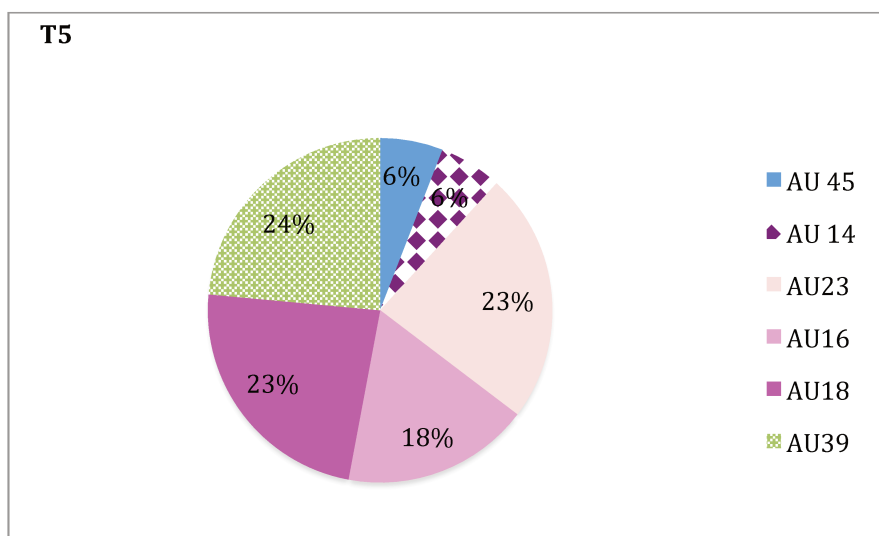


Figure III.32 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.

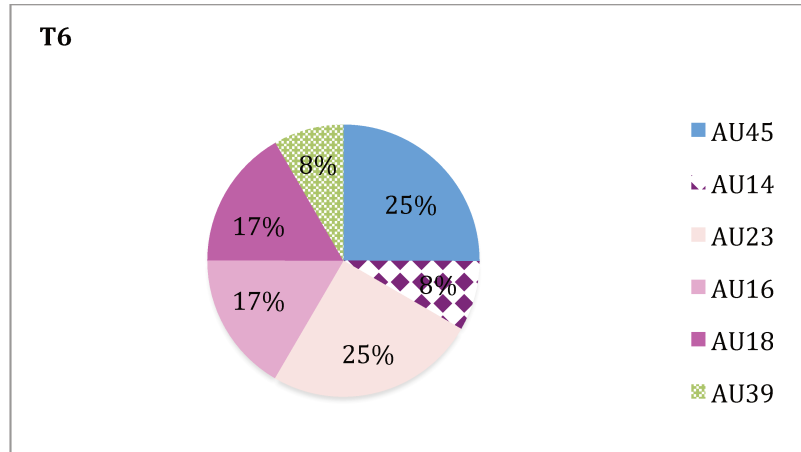


Figure III.33 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 3 sur l'ensemble de la cohorte.

#### III.2.4.E.d. Mouvement 4

Pour le mouvement 4, la répartition chronologique des AU est colligée dans la figure ci-dessous (Fig. III.34).

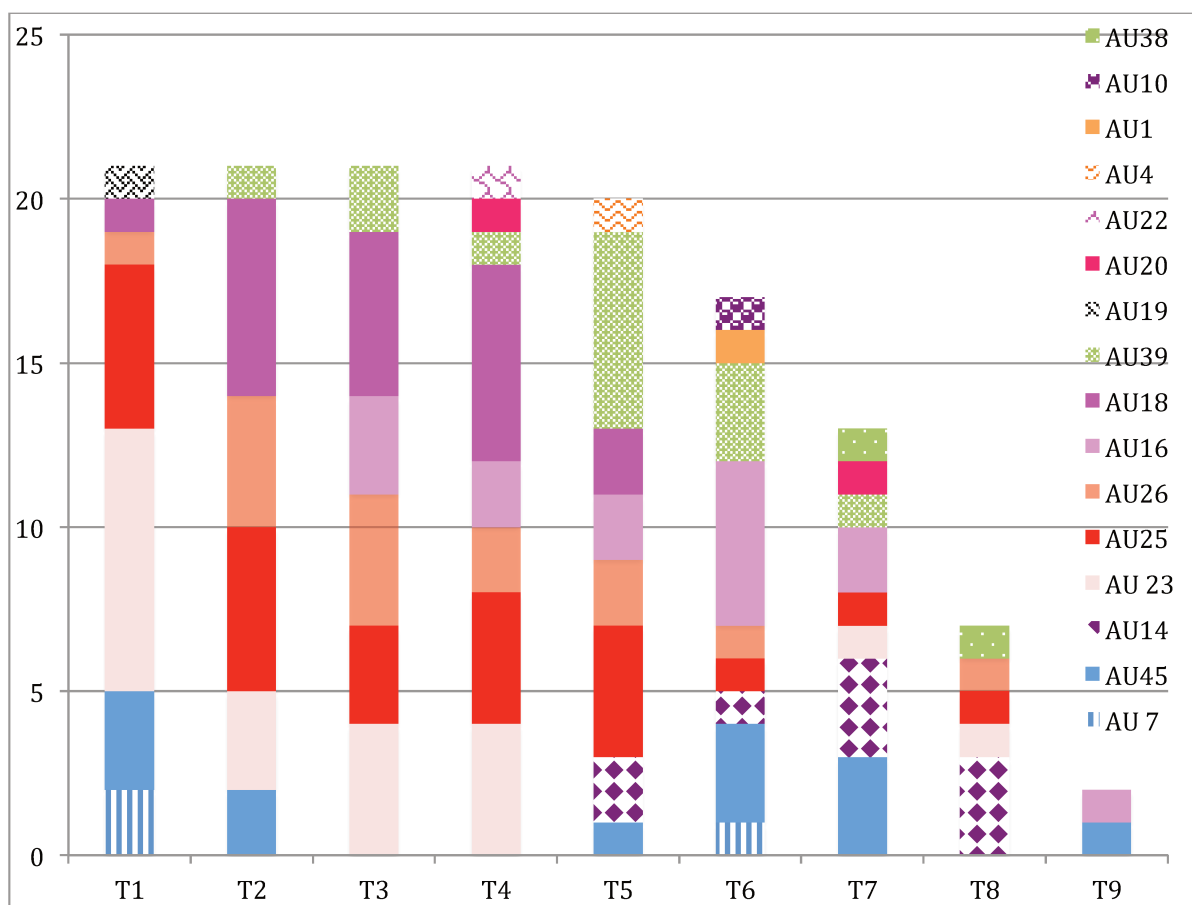


Figure III.34 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 4 en fonction du temps, T étant estimé à 0,31s

C'est l'AU 23 qui est observée à l'instant T<sub>1</sub> de façon prédominante (38%) (Fig. III.35), suivie par l'AU 18 (29%) à l'instant T<sub>2</sub> (Fig. III.36), l'AU 18 (24%) à l'instant T<sub>3</sub> (Fig. III.37), l'AU 4 à l'instant T<sub>4</sub> (29%)(Fig. III.38), l'AU 39 (30%) à l'instant T<sub>5</sub> (Fig. III.39), l'AU 16 (29%) à l'instant T<sub>6</sub> et l'AU 14 (23%) et l'AU 45 (23%) à l'instant T<sub>7</sub> (Fig. III.41). A l'instant T<sub>2</sub>, la prédominance de l'AU 18 (29%) n'est pas majeure, puisque l'AU 25 est représentée à 24%. Il en est de même à l'instant T<sub>3</sub> puisque l'AU 23 et l'AU 26 sont représentées à 19% et l'AU 25 et l'AU 16.

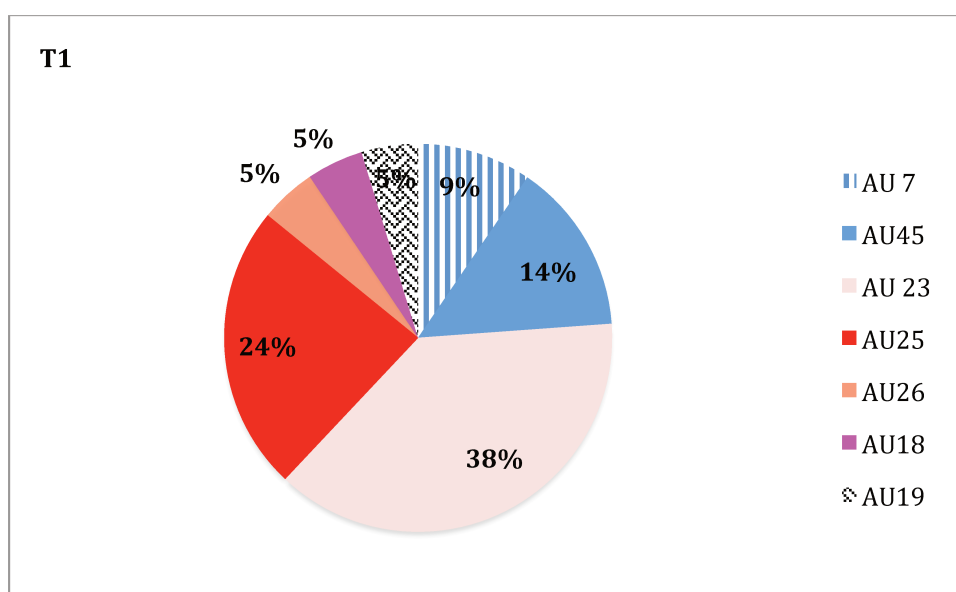


Figure III.35 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

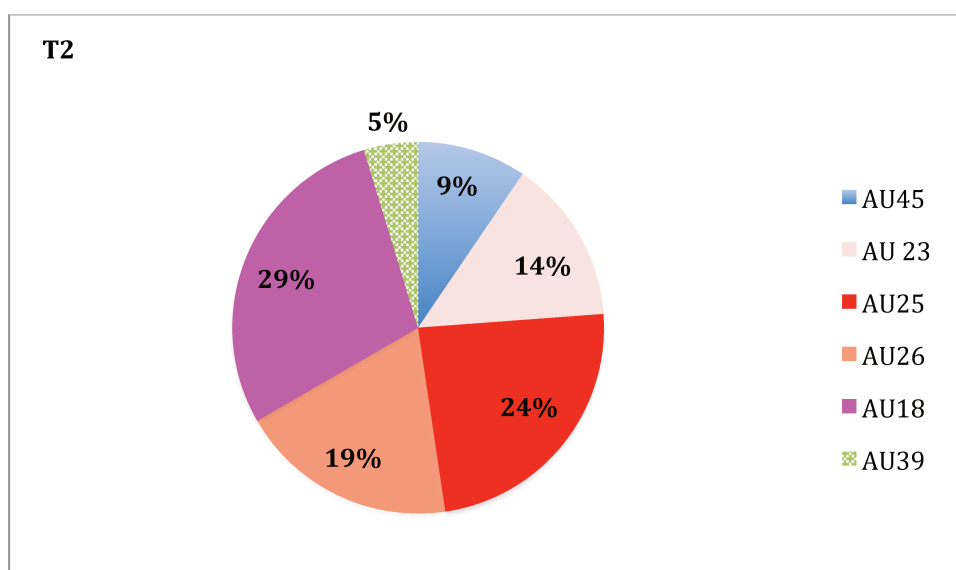


Figure III.36 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

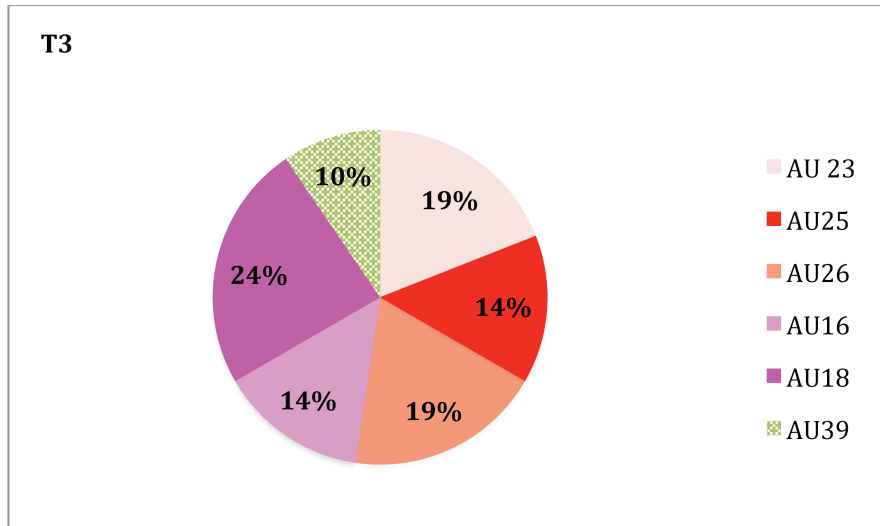


Figure III.37 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

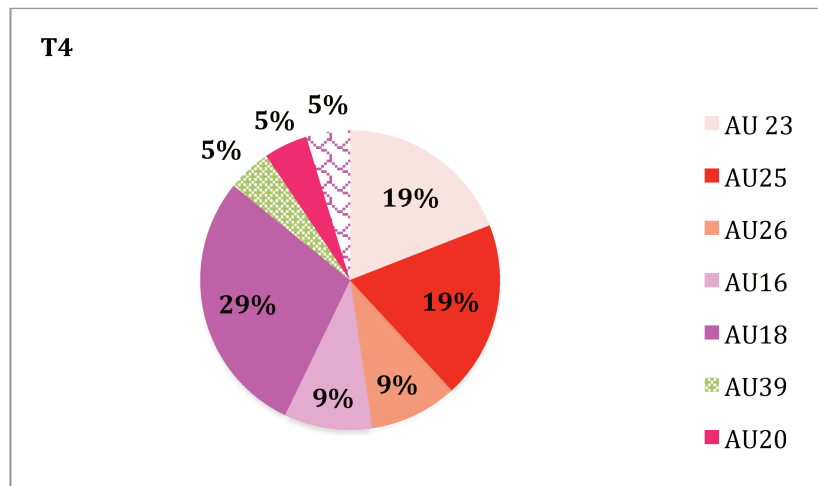


Figure III.38 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

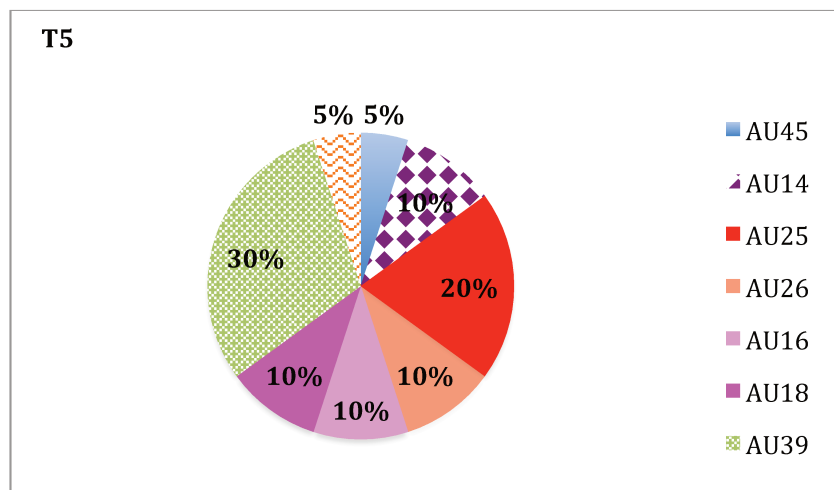


Figure III.39 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

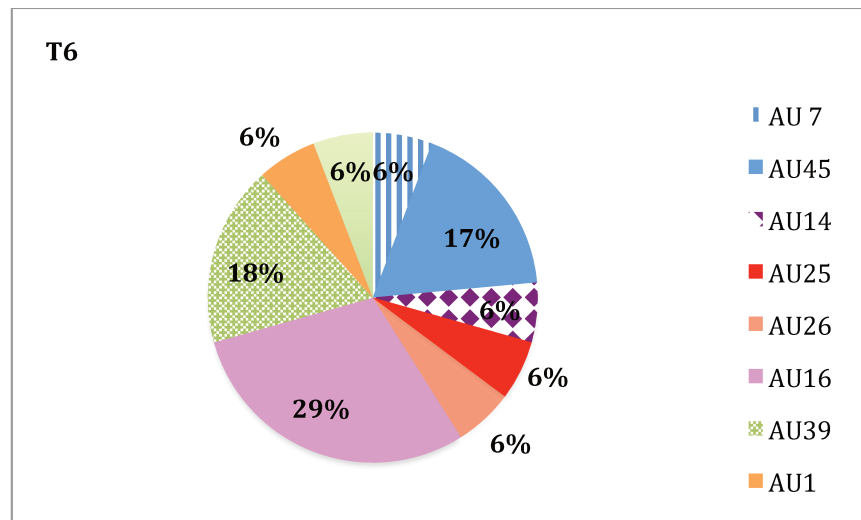


Figure III.40 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

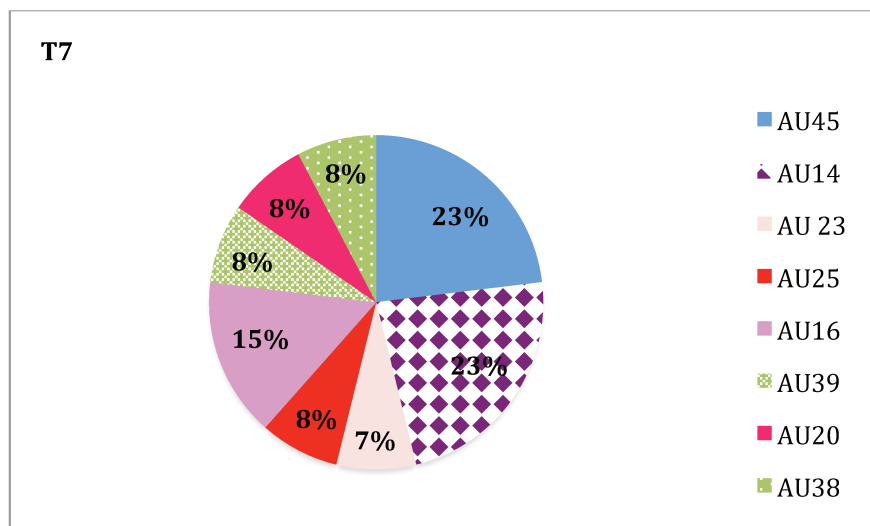


Figure III.41 : Répartition en % des AU observées à l'instant T7 du mouvement 4 sur l'ensemble de la cohorte.

### III.2.4.E.e Mouvement 5

Pour le mouvement 5, la répartition chronologique des AU est colligée dans la figure ci-dessous (Fig III.42). l'AU 45 est observée à 30% à l'instant T<sub>1</sub> (Fig. III.43), suivie par l'AU 12 (38%) à l'instant T<sub>2</sub> (Fig. III.44), l'AU 13 (25%) à l'instant T<sub>3</sub> (Fig. III.45), l'AU 25 (21%) à l'instant T<sub>4</sub> (Fig. III.46), l'AU 38 à l'instant T<sub>5</sub> (Fig. III.47) et les AU 13, 45, et 14 (20%) à l'instant T<sub>6</sub> (Fig. III.48).



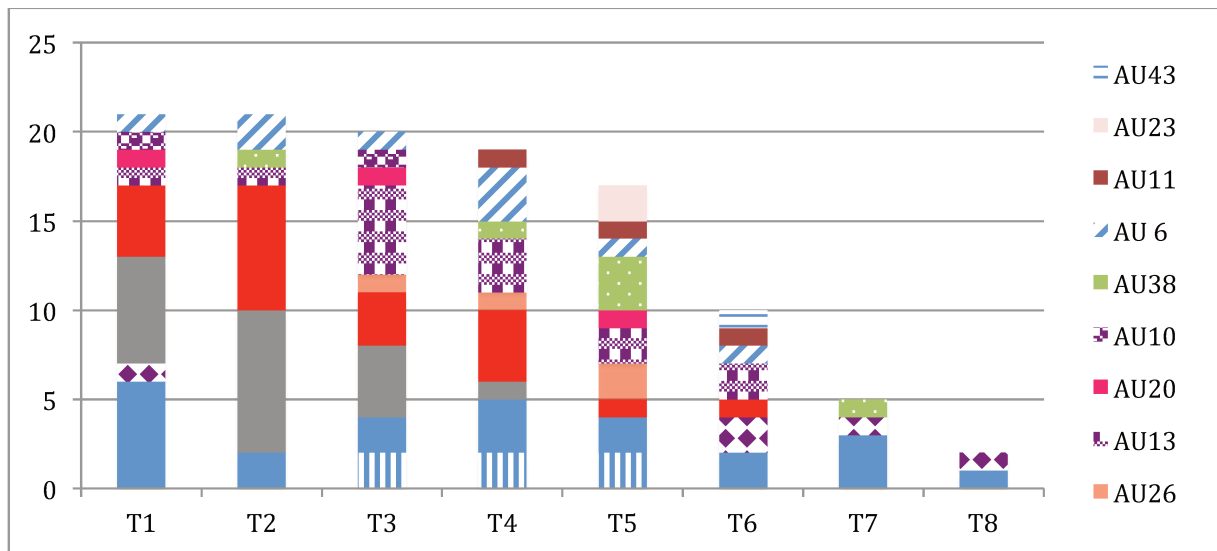


Figure III.42 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 5 en fonction du temps, T étant estimé à 0,56s

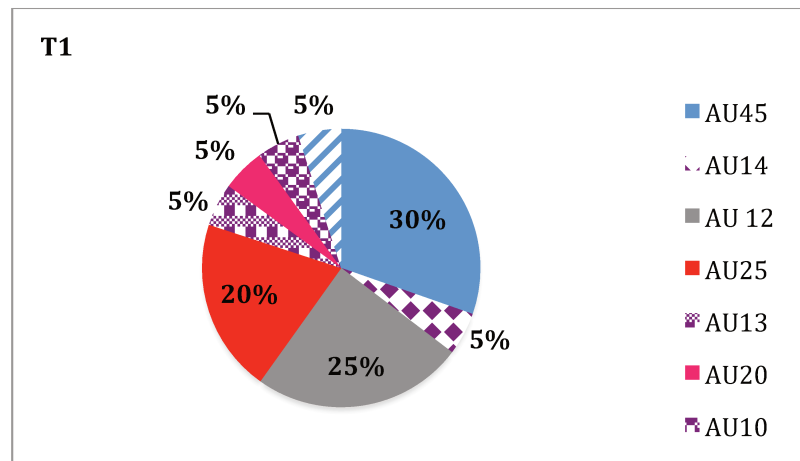


Figure III.43 : Répartition en % des AU observées à l'instant T1 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.

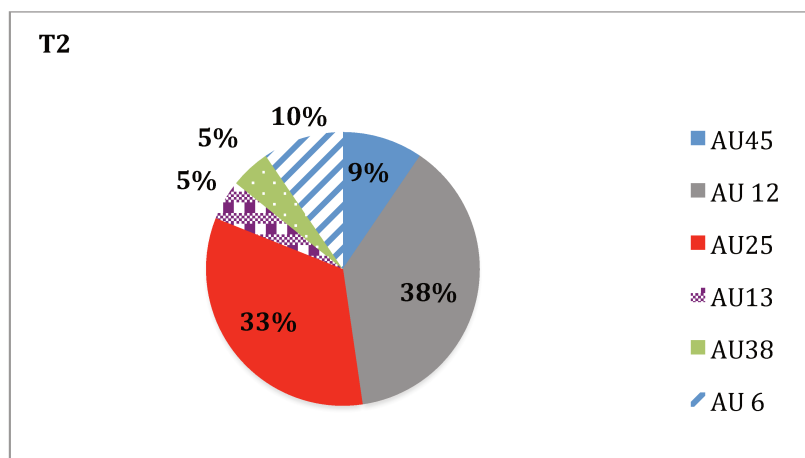


Figure III.44 : Répartition en % des AU observées à l'instant T2 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.

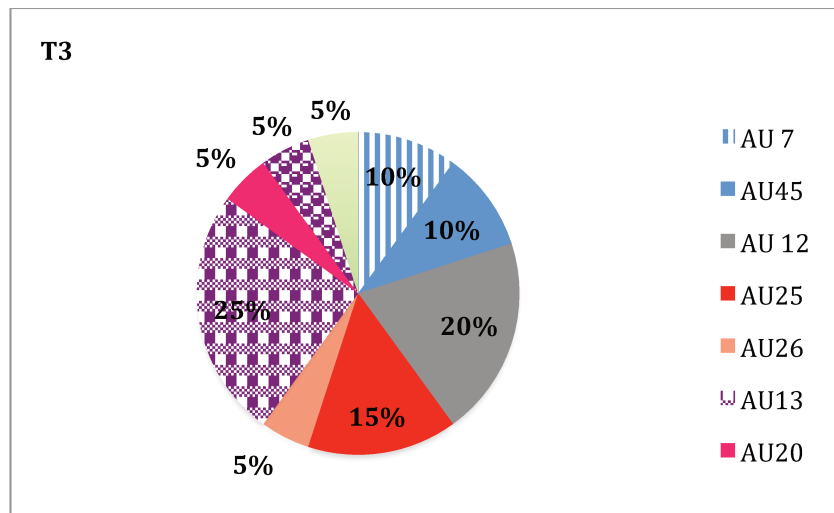


Figure III.45 : Répartition en % des AU observées à l'instant T3 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.

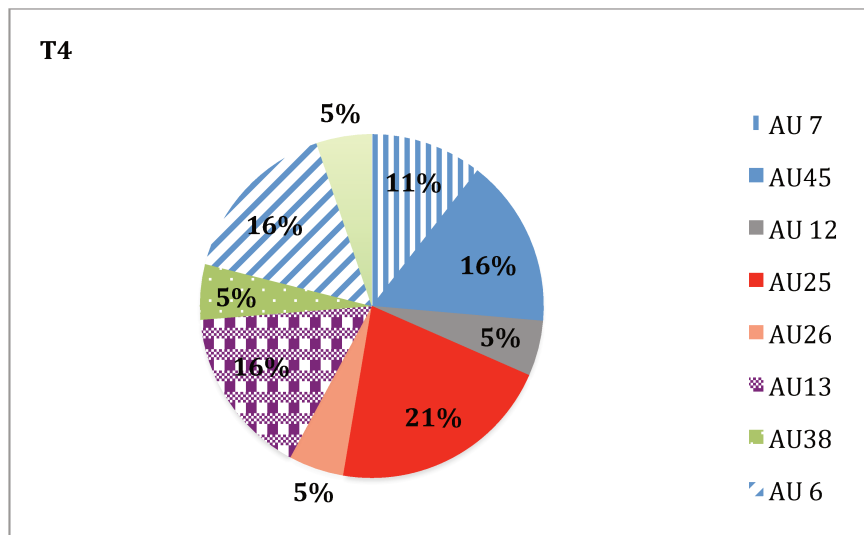


Figure III.46 : Répartition en % des AU observées à l'instant T4 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.

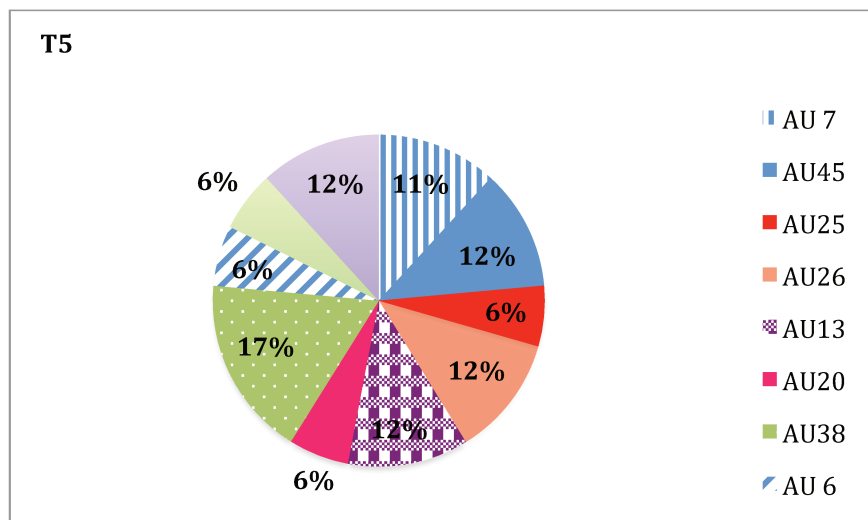


Figure III.47 : Répartition en % des AU observées à l'instant T5 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.

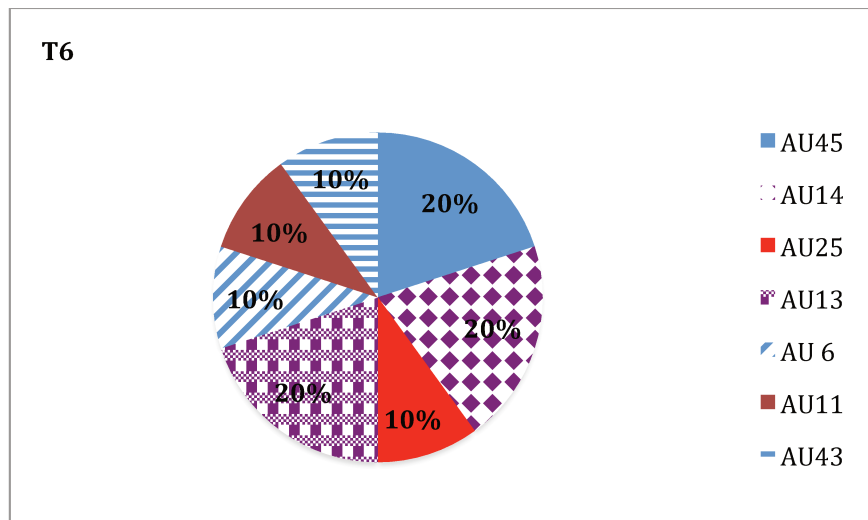


Figure III.48 : Répartition en % des AU observées à l'instant T6 du mouvement 5 sur l'ensemble de la cohorte.

#### III.2.4.E.f Mouvement 6

Pour le mouvement 6, la répartition chronologique des AU est colligée dans la figure ci-dessous (Fig III.49)

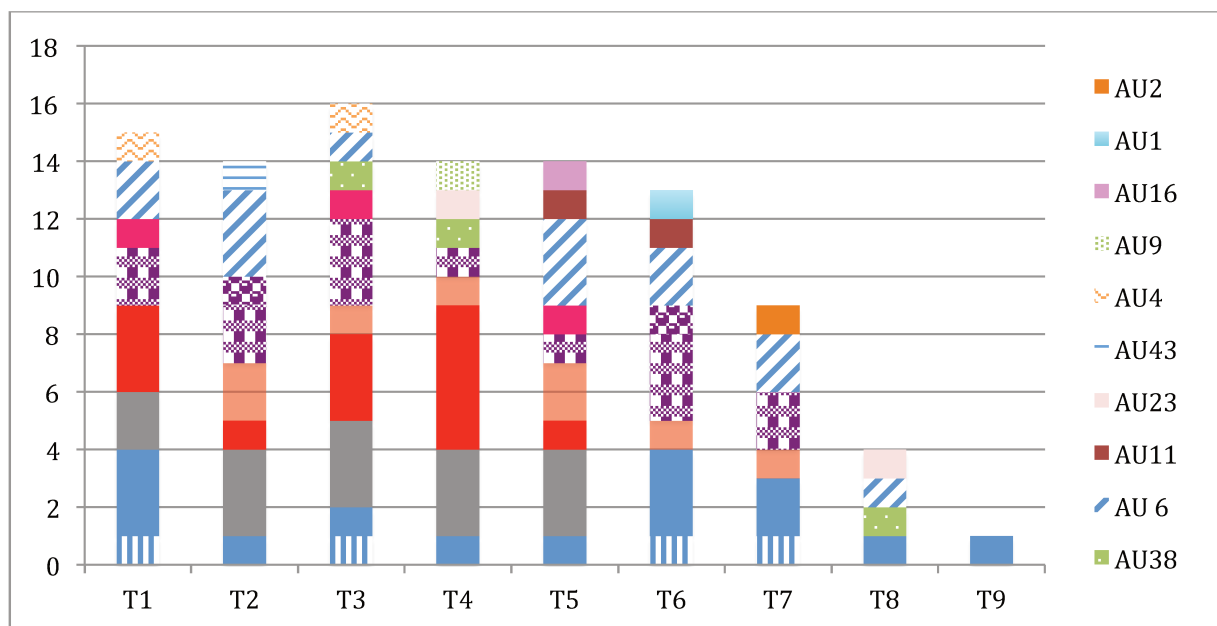


Figure III.49 : Répartition chronologique des AU observées pour le mouvement 6 en fonction du temps.

#### III.2.4.F. Combinaison chronologique d'AU la plus fréquente

Connaissant le nombre représentatif d'AU par mouvement, nous avons cherché à connaître la combinaison chronologique la plus fréquente en fonction du mouvement. Ainsi d'après nos précédents résultats (voir § III.2.4.C ) nous avons retenu et comparé les 5 premières AU les plus fréquentes dans la cohorte pour le mouvement 2, les 6 premières pour le mouvement 3, les 7 premières pour le mouvement 4, les 6 premières pour le mouvement 5, les 7 premières pour le mouvement 6. La

prédominance d'une AU à un T donné est parfois flagrante, et très lisible sur les graphiques, il peut cependant y avoir au même T, plusieurs AU qui ont été repérées dans la cohorte avec la même proportion ou une différence minime, ceci a donc été noté sous forme de tableaux afin de faire ressortir les combinaisons. Si l'AU 45 (clignement palpebral réflexe), et l'AU 7 (contraction de la pars palpebralis) peuvent être visualisées plusieurs fois dans la séquence, il ne peut en être de même pour les autres AU.

### III.2.4.F.a Mouvement 1

T1	T2
AU 7(15)	AU 43(15)
AU 43 (5)	AU 7 (5)

Tableau III.5 : AU les plus fréquentes aux instants T1 et T2 du mouvement 1

Pour le mouvement 1, la combinaison la plus fréquente est AU 7 et AU 43.

### III.2.4.F.b Mouvement 2

T1	T2	T3	T4	T5
AU 7 (9)	AU 43 (9)	AU 43 (6)	AU 4 (11)	AU 9 (6)
	AU 7/ AU 6 (4)	AU 4/ AU 6 (5)	AU 6 (4)	AU 4/ AU 38 (2)

Tableau III.6 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5 du mouvement 2

Pour le mouvement 2, la combinaison la plus fréquente sur l'ensemble de la cohorte est AU 7, AU 43, AU 6, AU 4, AU 9.

### III.2.4.F.c Mouvement 3

T1	T2	T3	T4	T5	T6
AU 25	AU 26	AU 18	AU 39	AU 23	AU 45
	AU 25	AU 26	AU 18	AU 39	AU 23
				AU 18	

Tableau III.7 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5, T6 du mouvement 3

Pour le mouvement 3, la combinaison la plus fréquente sur l'ensemble de la cohorte est AU 25, AU 26, AU 18, AU 39, AU 23, AU 45.

### III.2.4.F.d Mouvement 4

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
AU 23 (8)	AU 18 (6)	AU 18 (5)	AU 18 (6)	AU 39 (6)	AU 16 (5)	AU 14 (3)
AU 25 (5)	AU 25 (5)	AU 26 (4)	AU 25 (4)	AU 25 (4)	AU 45 (3)	AU 45 (3)
		AU 23 (4)	AU 23 (4)	AU 14 (2)	AU 39 (3)	AU 16 (2)

Tableau III.8 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 du mouvement 4

Pour le mouvement 4, la combinaison la plus fréquente sur l'ensemble de la cohorte est AU 23, AU 18, AU 26, AU 25, AU 39, AU 16, AU 14.

### III.2.4.F.e Mouvement 5

T1	T2	T3	T4	T5	T6
AU 12 (6)	AU 12 (8)	AU 13 (5)	AU 25 (4)	AU 38 (3)	AU 14 (2)
AU 45 (6)	AU 25 (7)	AU 12 (4)	AU 13 (3)	AU 26 / 45 (2)	AU 13 (2)
AU 25 (4)		AU 25 (3)	AU 45 (3)	AU 25/ 7 (2)	AU 45 (2)

Tableau III.9 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5, T6 du mouvement 5

Pour le mouvement 5, la combinaison la plus fréquente sur l'ensemble de la cohorte est AU 12, AU 25, AU 13, AU 25, AU 38, AU 14.

### III.2.4.F.f Mouvement 6

AU 25 (3)	AU 6 (3)	AU 13 (3)	AU 25 (5)	AU 6 (3)	AU 13 (3)	AU 6 (2)
AU 45 (3)	AU 12 (3)	AU 25 (3)	AU 12 (3)	AU 12 (3)	AU 45 (3)	AU 13 (2)
		AU 12 (3)		AU 26 (2)	AU 6 (2)	AU 45 (2)

Tableau III.10 : AU les plus fréquentes aux instants T1, T2, T3, T4, T5, T6 du mouvement 6

Pour le mouvement 6, la combinaison la plus fréquente sur l'ensemble de la cohorte est AU 25, AU 6 et AU 12, AU 13, AU 25, AU 26, AU 45.

### III.2.4.G. Fréquence de l'AU 45 en fonction des mouvements

Dans les figures ci-dessous, apparaissent la fréquence du clignement (AU 45) dans chacun des mouvements, et dans les mouvements de même nature (mouvements palpébraux (1et2) ; de mouvements de protrusion labiale (3 et 4) et de mouvement d'étirement des commissures (5 et 6)).

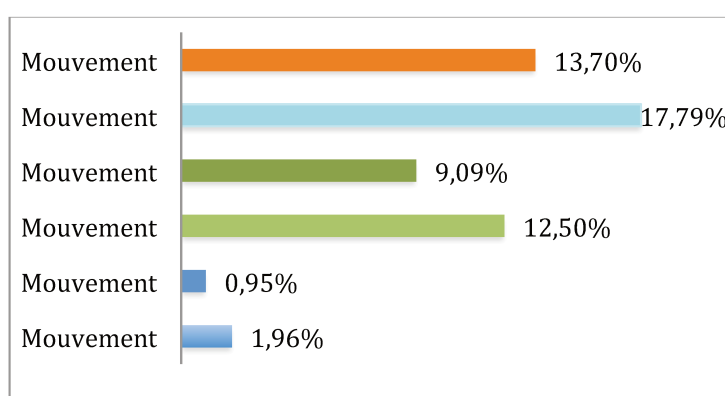


Figure III.50 : répartition en % de l'AU 45 dans chacun des mouvements.

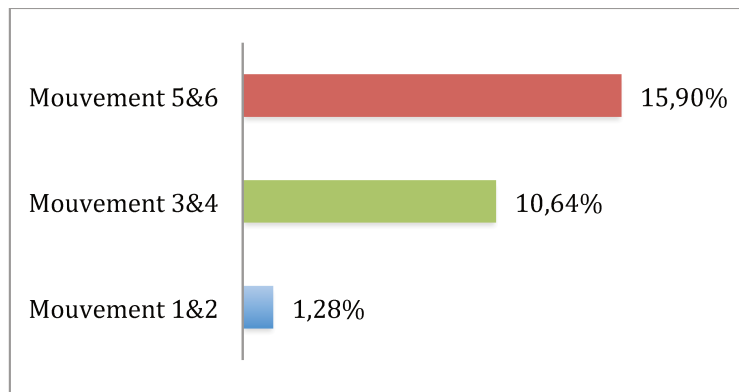


Figure III.51 : répartition en % de l'AU 45 dans les différents mouvements palpébraux (1et2) ; de mouvements de protrusion labiale (3 et 4) et de mouvement d'étirement des commissures (5 et 6).

Selon l'analyse avec le test de Fischer, l'AU 45 i.e le clignement est significativement plus fréquent pour les mouvements 3 et 4 ( $p=0,0002$ ) de protrusion labiale et pour les mouvements 5 et 6 d'étirement des commissures ( $p<0,0001$ ) que pour les autres mouvements 1 et 2 d'occlusion palpébrale. Il n'y a pas de différence significative si nous comparons la fréquence de l'apparition des AU 45 entre le mouvement 3 et 4 ( $p=0,4$ ) ; entre les mouvements 4 et 5 ( $p=0,09$ ) ; entre les mouvements 5 et 6 ( $p=0,58$ ) et entre les mouvements de protrusion labiale (3 et 4) et les mouvements d'étirement des commissures (5 et 6) ( $p=0,14$ ).

#### III.2.4.H. Fréquence de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 & 6) et de l'AU 25 dans le mouvement 6.

Pour l'AU 6, elle est représentée à 7,6% dans le mouvement 5 et à 13,9% dans le mouvement 6. En analyse statistique avec le test de Fischer, il n'y a pas de différence significative ( $p=0,19$ ).

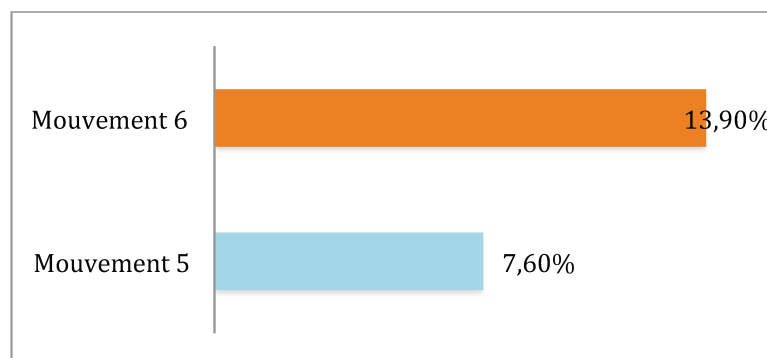


Figure III.52: répartition en % de l'AU 6 dans les mouvements d'étirement des commissures (5 et 6) sourire volontaire et sourire spontané.

Pour l'AU 25, elle est présente chez 80% des sujets, chez qui un sourire spontané a pu être enregistré.

### **III.2.4.I. Corrélation entre analyse morphologique (type d'orbite) et présence fréquente d'une AU (AU 45 : clignement)**

Nous n'avons pas retrouvé de corrélation significative entre le type d'orbite (considéré comme une variable ordinale i.e la<Ib<II<III) et le nombre d'AU 45 qui correspond au clignement. Cependant une tendance se dessinerait pour une fréquence plus importante de clignement pour le mouvement 1 dans le type d'orbite Ia (haut et ouvert). Le coefficient de corrélation de Spearman étant évalué à -0,4 avec  $p=0,11$ . Cela veut dire que le nombre d'AU45 du mouvement1 varierait en sens inverse du type d'orbite. En d'autres termes, la tendance serait que le nombre d'AU45 du mouvement 1 est plus élevé pour le type d'orbite IA comparé au type IB, de même pour le type IB vs. Type II et type II vs. Type III. Notre effectif reste trop faible pour affirmer ou infirmer cette tendance.

## **III.3. DISCUSSION**

### **III.3.1. Méthodologie**

Les faces ont de tout temps été analysées au repos, donnant les critères d'harmonie d'un visage selon les époques et les modes. Les difficultés à faire entrer les analyses en mouvement dans les pratiques cliniques, même si chacun s'accorde sur leur nécessité (Burres,1985 ; Trotman et al., 2000 ; Johnston et al.,2003) ne peuvent être niées. Ainsi, la méthode vidéographique utilisée peut paraître simple voire simpliste mais elle a l'avantage d'être facilement reproductible, et de pouvoir être transférée rapidement à la clinique. Le choix d'une analyse en mouvement simple nous semblait primordiale. L'obtention de ralenti, socle de l'analyse visuelle, pourrait être facilitée à l'avenir par multiplication des caméscopes enregistrant à un rythme supérieur à 24 images/s. De plus, les compétences présentes au sein du laboratoire BMBl devraient permettre de développer des applications automatisées pour la recherche et la pathologie clinique dans le domaine des déficits de la mimique faciale. Ces applications ne pouvaient se réaliser sans une bonne connaissance du FACS manuel, et l'objectivation des mimiques pertinentes à étudier pour le domaine clinique considéré. Dans les récents développements pour l'automatisation du FACS, qui inclut les phases de détection de la face sur l'enregistrement vidéographique, l'extraction des caractéristiques d'intérêt et la classification de celles-ci, il apparaît important que ce ne soient pas les expressions (joie, peur, tristesse, dégoût ...) qui soient repérées, mais bien les unités d'action afin d'être en mesure de repérer le maximum de positions de mouvement de mimique faciale. En effet, les travaux plus anciens classaient les séquences à partir de quelques expressions statiques faciales prototypes (Hamm et al., 2011), insuffisantes à couvrir la multiplicité des combinaisons de mimiques faciales possibles. Les

travaux récents insistent d'ailleurs sur la mise en jeu d'autres muscles du corps dans la transmission de ces émotions, soulignant l'existence d'un vrai langage corporel : BACS (Body Action Coding System) (Huis In 't Veld EM et al., 2014).

De nos jours, la référence au FACS est utilisée majoritairement pour la reconnaissance d'expressions et l'interprétation de la mimique pour en déduire un état émotionnel voire psychologique ou algique (Ekman, 1982 ; Del Guidice et al., 2007 ; Hamm et al., 2011 ; Lin et al., 2013 ; Rojo et al., 2014). En effet de nombreux auteurs standardisent les mouvements d'une cohorte de volontaires selon le FACS, ou ont recours à des acteurs développant des capacités de mime afin d'analyser la perception de leurs mimiques par les examinateurs, il s'agit par exemple de graduer l'esthétique d'un sourire (Lin et al., 2013), d'évaluer les différences de perception de la sincérité d'un sourire entre adulte et enfant (Del Guidice et al., 2007).

L'originalité de notre travail est d'utiliser un dérivé de ce code à des fins d'analyse de mouvement sans y associer aucune interprétation et sans connaissance préalable du FACS par les personnes incluses dans notre cohorte. Ceci dans le but de relier chaque AU à une activité musculaire. Finalement, cela rejoint l'article princeps d'Ekman (Ekman, 1976) qui cherchait à mettre en place une analyse faciale basée sur les connaissances anatomiques puisque la sémantique sur la description des mouvements de la mimique faciale pouvait interférer sur l'objectivité de l'examineur ( i.e description expression de dégoût, de joie...) ( § 1.2.1.B voir état de l'art). L'adjonction d'une dimension temporelle grâce au ralenti est également originale dans ce travail. En effet, même si l'analyse première de la reproductibilité ne tient pas compte de l'ordre chronologique des AU, la cotation sur la cohorte est réalisée dans un ordre successif. Cet ordre de réalisation apparaît important dans la différenciation de certains mouvements qui possèdent des AU très similaires [o] et [pɥ] par exemple. La connaissance de la reproductibilité de l'examineur et du sujet réalisant les mouvements de la mimique choisis sur la consigne donnée rend plus pertinente notre méthodologie, en effet cette reproductibilité est rarement mesurée dans la littérature.

### **III.3.2. Reproductibilité**

Ce travail a permis d'évaluer la reproductibilité de 5 mouvements de la mimique faciale par une méthode qualitative d'observation externe. D'après nos résultats, la reproductibilité de l'examineur est importante avec un coefficient de corrélation moyen à 0,68. Cette reproductibilité varie en fonction du mouvement observé, elle est presque parfaite pour le mouvement 1 (fermeture palpébrale), importante pour les mouvements 2,4, et 6 (fermeture palpébrale forcée, protrusion labiale



sur le son [pμ] et sourire spontanée) moyenne pour les mouvements 3,5 (protrusion labiale sur le son [o], sourire volontaire) .

La reproductibilité de la réalisation du mouvement par le sujet selon le protocole établi est moyenne à presque parfaite selon les mouvements, comprise entre 0,56 et 1. Elle est presque parfaite pour les mouvements 1,2 (et fermeture forcée) et importante pour les mouvements 3,5 (protrusion labiale et sourire volontaire) moyenne pour le mouvement 4 (sourire spontané).

Pour un sujet donné, la reproductibilité d'une gestuelle faciale est spécifique d'un mouvement de la mimique faciale, ce qui est cohérent avec d'autres travaux de la littérature comme ceux de Johnston (Johnston et al., 2002). En comparant la mobilité moyenne de 20 repères placés sur la peau de 30 sujets lors d'une même séance de 2 sessions de mouvements, Johnston détermine une variation des repères faible pour la position repos (0,74 mm) ; maximale pour le gonflement des joues (1,12 mm), identique pour la protrusion labiale et le sourire maximale (0,86 mm) et évalue cette variation à 0,97 mm pour le sourire naturel.

### **III.3.3. Consignes orales**

L'évaluation objective de la mimique faciale commence chez beaucoup d'auteurs par la demande de la réalisation d'un mouvement sur une consigne orale. Il est remarquable que la validité de celle-ci n'ait jamais vraiment été testée (Obtient-on le mouvement attendu sur la consigne donnée ? quel est son degré de reproductibilité ?). Plusieurs types de consignes orales sont utilisés dans la littérature afin de demander la réalisation du mouvement aux patients ou volontaires. Johnston et al. testent 5 mouvements de mimique : la position neutre selon les directives de Zachrisson ( Zachrisson et al., 1998) (le sujet après avoir prononcé le mot mississippi, déglutit et prononce la lettre N avant de se mettre au repos), le « sourire naturel (le sujet serre les dents légèrement et sourit en prononçant le mot « cheese », le sourire maximum (le sujet serre les dents légèrement et sourit au maximum), la protrusion maximale (le sujet doit pousser les lèvres en avant et siffler) et le gonflement des joues (le sujet a pour consigne de garder lèvres et dents serrées et de gonfler les joues au maximum).

Hontanilla et al demandent à leurs volontaires de fermer et ouvrir les paupières sans cligner, d'élever et de relâcher les sourcils, de sourire sans découvrir les dents, d'élever la lèvre supérieure et de la relâcher, de montrer les dents inférieures et de relâcher, et finalement de faire la moue (Hontanilla et al.2008),

Frey et al (Frey et al., 1999) utilisent les consignes suivantes : élévation maximale des sourcils, fermeture des yeux comme si vous dormiez, fermeture maximale des paupières, découverture maximal des dents, fermeture maximale des paupières et découverture des dents dans le même

temps, sourire en découvrant les dents, sourire sans découvrir les dents, pousser les lèvres en avant et siffler, étirer les commissures labiales (coin des lèvres) vers le bas.

Mishima et al. analysent chez 14 sujets la mobilité labiale à travers la prononciation de plusieurs voyelles /a/, /i/, /u/, /e/, /o/ (Mishima et al., 2011). Popat et al. analysent les mouvements sur le son « puppy » et stipulent l'importance pour l'évaluation faciale de choisir des mots qui testent l'articulation avec des consonnes bilabiales (qui mobilisent les lèvres) et occlusives (blocage complet au niveau de la cavité buccale, de la bouche et du pharynx) (Popat et al., 2009).

Comme ces auteurs nous avons choisi des mouvements qui mettent en jeu les paupières et les lèvres (voir chapitre II), notre consigne orale est doublée d'une démonstration par l'examineur. Ainsi nous avons pu conclure à une réalisation du mouvement attendu dans 98,6% avec un intervalle de confiance de [93% ; 100%], cette valeur est significative avec un risque alpha de 10%. L'augmentation du nombre d'inclus dans la cohorte devrait permettre de confirmer ces résultats.

### **III.3.4. Codage sur la cohorte**

Chaque mouvement de la mimique sélectionné a pu être caractérisé par son temps de réalisation moyen (fig. III.9) ; le nombre moyen d'AU (fig III.11), les AU les plus fréquemment observées ainsi que la combinaison chronologique la plus pertinente.

Pour la fermeture palpébrale, le temps de réalisation est de  $3,03 \pm 0,7$  s, le nombre d'AU est de 2, la combinaison la plus pertinente est AU 7 et AU 43.

Pour la fermeture palpébrale forcée, le temps de réalisation est de  $3,25 \pm 0,7$  s, le nombre d'AU est de 5, la combinaison chronologique la plus pertinente est AU 7, AU 43, AU 6, AU 4, AU 9.

Pour la protrusion labiale sur le son O, le temps de réalisation est  $2,43 \pm 0,9$  s, le nombre d'AU est de 6, la combinaison chronologique la plus pertinente est AU 25, AU 26, AU 18, AU 39, AU 23, AU 45.

Pour la protrusion labiale sur le son POU de  $2,14 \pm 0,5$  s, le nombre d'AU est de 7, la combinaison chronologique la plus pertinente est AU 23, AU 18, AU 26, AU 25, AU 39, AU 16, AU 14.

Pour le sourire volontaire le temps de réalisation est de  $3,15 \pm 0,9$  s pour le mouvement 5. AU 12, AU 25, AU 13, AU 25, AU 38, AU 14. Les mouvements de protrusion labiale (mouvement 3 et 4) sont de réalisation plus rapides que les mouvements de fermeture des paupières et d'étirement des commissures (mouvement 1, 2, et 5). A notre connaissance, de telles données n'ont jamais été publiées dans la littérature. Elles pourraient être utiles pour rendre plus objective l'analyse clinique des déficits de la mimique faciale, et notamment dans le développement d'un outil automatisé ou dans l'automatisation du FACS. En effet, comme d'autres auteurs l'ont souligné récemment, repenser

l'évaluation de la mimique faciale « vaut la peine » et le FACS est une piste non négligeable qui fournit des données rapides, globales et régionales sur les fonctions motrices faciales (Haase et al, 2014).

La combinaison chronologique la plus pertinente pour le sourire spontané serait AU 25, AU 6 et AU 12, AU 13, AU 25, AU 26, AU 45, cependant le temps de réalisation est plus difficile à noter car ce sourire apparaît par définition spontanément et, début et fin, sont plus difficilement repérables, ce mouvement étant souvent accompagné par d'autres (de tête par exemple) pouvant rendre difficile le repérage du commencement du mouvement. Ekman P (Ekman, 1982) déduit cependant de ses expériences au tachitoscope (appareil de projection spécialisé qui permet d'effectuer progressivement de courts affichages d'éléments visuels pour en mesurer la perception) que l'expression souriante serait l'une des plus facilement reconnaissable et perçue. Il décrit les sourires ressentis (felt smile), des sourires faux (false smile) ainsi que les sourires malheureux (miserable smile), et pour les distinguer introduit entre autres critères une notion de temps : le sourire spontané serait de réalisation plus courte avec un temps d'acmé compris entre 0,75s et 4s. Nos résultats ne corroborent pas ces conclusions, en effet le temps moyen des sourires volontaires (qui ne sont pas à proprement parler des sourires faux, mais sur demande) est de  $3,15 \pm 0,9$  s temps de réalisation qui pourrait correspondre au "felt sourire" selon Ekman (Ekman P, 1982). L'AU 6 est l'un des autres indicateurs selon certains auteurs pour distinguer les sourires spontanés sincères des sourires volontaires. En effet, appelée « Cheek Raiser » par Ekman (Ekman, 1976 ; Ekman 2002), notée par plusieurs auteurs comme l'AU de Duchenne de Boulogne (Delguidice et al, 2007, Lin et al, 2013), rendant la perception du sourire plus attractif (Lin et al, 2013), voire faisant émaner chez le sujet qui la réalise une émotion positive (Ekman et al, 1990), l'AU 6 serait un marqueur de sourire spontané. Cependant nos résultats ne corroborent pas non plus cette interprétation puisque même si la présence de l'AU 6 est plus fréquente lors de la réalisation du sourire, il n'y a pas de différence significative entre la présence de l'AU 6 lors de la réalisation du sourire volontaire et la réalisation du sourire spontané.

Concernant les mouvements palpébraux et en particulier l'AU 45 (clignement reflexe), d'après nos résultats, il est significativement plus fréquent pour les mouvements qui ne sollicitent pas directement les paupières. Dans la littérature, dès la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, les auteurs ont déterminé la durée du réflexe de clignement et souligne que le clignement est modifié par l'attention (Exner, 1874 ; Mayhew, 1897). Cette durée est en moyenne de 0,4 s (Henri, 1898), avec une phase d'abaissement rapide, une phase d'occlusion de temps variable et une phase de relèvement de la paupière plus lente. Dans le codage FACS décrit par Ekman le clignement reflexe est défini par un temps  $< 0,5$  s (Ekman et Friesen, 1976). Pourtant, étant donné les temps de réalisation de chacun des mouvements

qui sont plus importants pour les mouvements palpébraux, un nombre de clignements plus important était attendu pour les 1 et 2. Nous pourrions avancer comme hypothèse que le sujet était plus concentré en début de séance. Cependant une autre hypothèse pourrait être avancée celle de la mise en jeu du clignement comme un mouvement de détente musculaire, lorsque les muscles peauciers de la partie inférieure de la face sont sollicités. En effet d'autres mouvements, que nous pourrions appeler de transition ont pu être observés lors de la réalisation de mouvements sollicitant la partie inférieure de la face chez plusieurs sujets, et pourraient avoir un rôle de détente musculaire, il s'agissait par exemple du passage de la pointe de la langue sur les lèvres après répétition du mouvement de protrusion labiale. De plus mettre en lien le clignement reflexe et la détente musculaire des muscles peauciers de la partie inférieure de la face (ici principalement le grand zygomatic et l'orbiculaire des lèvres) pourrait corroborer la présence des syncinésies qui apparaissent chez certains patients dans la récupération des paralysies faciales.

Nous avons également cherché à savoir si la morphologie de l'orbite influait sur la fréquence du clignement, en effet nous pourrions penser que le type d'orbite III présentant un globe oculaire plus reculé dans l'orbite, le protège mieux et nécessite moins de clignement. Même si l'effectif est trop petit pour conclure, cette tendance se dessine avec une fréquence plus grande du clignement dans les types Ia (haut et ouvert) dans le mouvement 1, et moins fréquente dans le type III.

Concernant les mouvements labiaux de protrusion labiale, en termes de fréquence d'AU, ceux-ci se caractérisent par des AU similaires. Cependant l'ordre chronologique des AU est différent, la simple analyse de perception visuelle peut donc servir à différencier ces 2 mouvements. Ainsi, dans le mouvement 3 il y a d'abord un relâchement de l'orbiculaire pour entrouvrir les lèvres (AU 25), puis des arcades dentaires (AU 26) avant de réaliser la contraction de l'orbiculaire labii en mettant les lèvres en forme de O (AU 18), et de mettre en jeu les fibres musculaires compressives (AU 23), tandis que dans le mouvement 4 c'est cette dernière action qui entre en jeu dans un premier temps (AU 23), et, est suivie le plus fréquemment par l'AU 18 et « l'entrebâillement » des lèvres et des arcades.

Concernant la chronologie des AU dans l'observation de la cohorte, lorsqu'une AU est très prédominante à un instant T sur l'ensemble de l'effectif, nous pouvons conclure que le mouvement se caractérise à cet instant par cet AU, mais s'il y a plusieurs AU à cet instant, alors celles-ci sont co-occurentes dans le temps d'observation. Ces difficultés à différencier quelle AU était antérieure à l'autre sont apparues pour le mouvement 2 à l'instant T<sub>3</sub> (III.2.4.E.b) et le mouvement 4 à l'instant T<sub>2</sub> et T<sub>3</sub> (III.2.4.E.d), pour ces situations il faudrait alors allonger le temps de ralenti, pour que l'œil puisse percevoir la séquence chronologique.

### III.4 CONCLUSION et PERSPECTIVES :

Grâce à cette partie, nous avons pu constituer une cohorte de volontaires jeunes dont nous connaissons certaines caractéristiques cliniques, et dont les mouvements sélectionnés de la mimique faciale ont été vérifiés reproductibles. En effet, dans l'hypothèse de développements ultérieurs de nouveaux outils d'évaluation de la mimique (Fig III.53) (tâche dans les Projets FIGURES, FHU SURFACE), il était important de vérifier que la différence des mesures n'est pas due à une différence dans l'exécution du mouvement. Il a donc été nécessaire de vérifier que pour une consigne orale donnée l'exécution du mouvement apparaît qualitativement identique pour l'examineur. Ajoutons, que la cohorte ainsi constituée fait l'objet d'autres travaux de recherches dans le cadre du projet SIMOVI et les mouvements choisis sont analysés grâce à un scanner de surface, en stéréocorrélation et en plateforme d'analyse du mouvement pour obtenir des indicateurs de mesures quantitatifs.



Figure III.53 :développements réalisés dans le projet SIMOVI, à gauche mesures avec un scanner de surface, sur la plateforme du mouvement, à droite en stéréocorrélation

Le codage utilisé présente pour avantage d'être assez accessible pour des non cliniciens, tout en mettant en corrélation une AU et une action musculaire. Cependant lors de la pratique du codage, il est apparu que ces codes ne pouvaient décrire que l'action de contraction du muscle, et ignorent les actions de décontractions musculaires synergiques et nécessaires lors de la mimique faciale. D'autres développements (élastographie) (Bensamoun,2006) prévus en perspectives dans les projets cités au-dessus pourront certainement aider à la compréhension de cette synergie, et permettent d'accéder aux propriétés mécaniques du muscle.

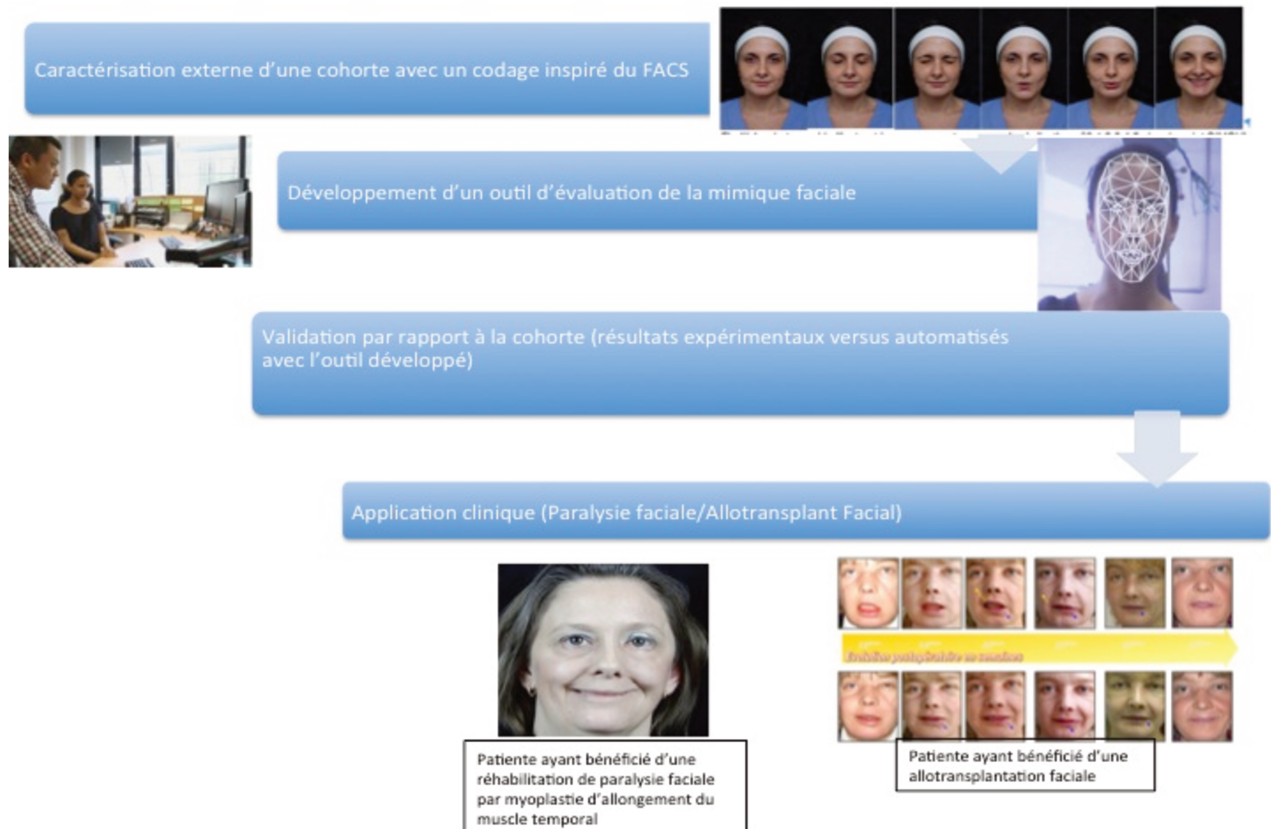


Figure III.54 : perspectives

*De plus, la caractérisation des déformations internes des muscles peauciers par analyse d'acquisitions IRM est menée en parallèle (Chapitre IV) et donnent des premiers résultats de variations de propriétés morphométriques de muscles peauciers lors du mouvement.*



# CHAPITRE IV

---

## CARACTERISATION INTERNE DES MOUVEMENTS CHOISIS DE LA MIMIQUE FACIALE PAR L'IRM



*L'objectif de cette partie a été de définir une méthodologie à partir de l'IRM permettant de caractériser les muscles impliqués dans la mimique faciale. Cette caractérisation a fait appel à une modélisation du muscle afin d'extraire certains paramètres morphologiques. Ces derniers permettent d'avoir accès à l'anatomie in vivo via l'imagerie, de réaliser une analyse plus fine de la morphologie musculaire en 3 dimensions, d'obtenir une meilleure compréhension du comportement cinématique du muscle dans différentes positions de la mimique. De plus, l'étude de morphotypes musculaires a permis de dégager des 'patterns' de muscles qui pourraient être implémentés dans des logiciels de segmentation ou de modélisation en vue de l'automatisation de ces procédés.*

## IV.1. MATERIEL ET METHODES

### IV.1.1. Matériel

#### IV.1.1.A IRM

Il s'agit d'une IRM 3 TESLA General Electric®medical system SIGNA HD et MRHDX fabriquée par Général Electric Healthcare. Un manipulateur IRM et un médecin référent sont systématiquement présents lors des acquisitions IRM. L'antenne utilisée est une antenne tête et cou résolution 3T HD 8 canaux pour le système d'IRM GE HDx (Fig IV.1)



Figure IV.1 : antenne tête et cou résolution 3T HD 8 canaux pour le système d'IRM GE HDx

#### IV.1.2.B Logiciel de traitement des données

Les logiciels utilisés pour traiter les données sont le logiciel Simpleware Scan IP et le logiciel Patran (MSC.Software). **ScanIP** est un logiciel de traitement d'image pour convertir les données de numérisation 3D (IRM, CT, micro-CT, FIB-SEM, ...) dans des modèles CAO. Il possède des outils de

segmentation et de quantification d'images. Les images segmentées peuvent ensuite être exportées sous forme de modèles de surface et de volume vers des logiciels de CAO et d'impression 3D. Des modules sont disponibles pour générer des maillages, pour importer des fichiers CAO et pour l'exportation de modèles basés sur les NURBS.

Patran est un logiciel de pré et post-traitement de modèles géométriques issus d'une CAO dédiée aux calculs de structures, d'analyse par éléments finis et permettant dans l'industrie de développer et tester virtuellement des matériaux pour la conception de produits ou encore de simuler des phénomènes physiques, mécaniques. C'est un logiciel référence pour la création et l'analyse de modèles de simulation. Il a été utilisé dans notre travail pour l'analyse des modèles géométriques tridimensionnels (muscles reconstruits) servant de référence à la phase de maillage utilisée pour la simulation de la contraction musculaire.

#### **IV.1.2. Population (muscles peauciers) étudiée**

Cinq volontaires (3 femmes et 2 hommes) ont participé à cette étude (Tableau IV.1). Le sujet Simovi LD a bénéficié d'une étude de muscles peauciers de la région jugale, labiale et mentonnière (Tableau IV.1). Les 4 autres sujets ont bénéficié de l'étude du muscle grand zygomatique (zygomaticus major). Ces premiers sujets ont permis de tester les séquences IRM et de mettre au point le protocole d'acquisition à partir des séquences de routine. Les critères d'inclusion étaient une population caucasienne saine âgée de 20 à 30 ans. Les critères de non inclusion étaient :

- Pathologie faciale
- Antécédents de traumatisme facial
- Grossesse et allaitement
- Patient porteur de contre indication ou d'éléments pouvant parasiter l'acquisition (artéfacts) tels que pace maker, clips neuro-chirurgicaux, clips vasculaires, valves cardiaques, implant cochléaire, neuro-stimulateur, prothèse articulaire, prothèse dentaire, verre de contact, pompes à insuline, dispositif intra utérin, tatouage, éclat d'obus, piercing/implants.

L'âge moyen était de 26,6 ans. Les volontaires ont reçu une information détaillée sur l'étude et ont signé le formulaire de consentement éclairé (Annexe 3).

Sujet	Age	Sexe	IMC	Forme Visage	équilibre	Sillon nasogénien			Fossette		Coté dominant	Classif ication Sourire	Muscles peauciers étudiés	
						Repos	Sourire	Terminaison	Jugale	Dt G				
SIMOVI LD	24	F	25,3	Transfrontale	Oui	Peu marqué	Droit	C	N	N	G	Rubin	Tjan	Muscles Droit et gauche
												Canin	Bas	
SIMOVI JB	28	M	25	Cisfrontale	Oui	Peu marqué	Droit	L	N	N	G	Mona Lisa	Moy en	Zygomaticus major
SIMOVI DP	30	F	20,2	Normofrontale	Oui	Peu marqué	Droit	L	N	N	G	Mona Lisa	Haut	Zygomaticus major Levator labii superioris
SIMOVI LB	27	F	19,1	Normofrontale	Oui			C			D	Canin		Zygomaticus major
SIMOVI GP	24	M	22,2	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	Zygomaticus major

Tableau IV.1. Caractéristiques des volontaires sains inclus dans le protocole

### IV.1.3. Développement Méthodologique

#### IV.1.3.A. Séquences testées et Choix de la séquence

En routine les muscles peauciers ne sont guère explorés par l'IRM (cf § I.3.3). Nous avons donc testé à travers 9 acquisitions plusieurs séquences (dérivées de séquences de routine) afin d'en déterminer la plus adaptée pour cette analyse. Ces acquisitions devaient permettre la visualisation correcte des muscles peauciers et à partir des fichiers DICOM la reconstruction géométrique de ces muscles après leur segmentation grâce au logiciel Simpleware. Les séquences testées sont présentées dans le tableau IV.2.

	frequence	phase	nex	fov	TR	TE	bandwith	thickness	
Coronal T1	320	288	6	24	460	13,6	41,7	1,2	
Coronal T2 cube	288	288	6	29	2800	13,6	62,5	1,2	
Axial T1	256	256	2	26	430	12,1	41,7	1	
Axial T1 3 nex	256	256	3	26	430	12,1	41,7	1	
Axial T2	384	288	6	18	5880	100	41,6	1,1	
3D FSPGR coronal	416	288	1	24	11,4	4,3		0.8	
multiphase									

Tableau IV.2. Séquences IRM testées

La séquence multiphase correspond à plusieurs acquisitions dans un même plan de coupe. La séquence axiale T1 (Protocole 1) s'est avérée la plus performante afin de visualiser les muscles peauciers et permettre ensuite leur segmentation. Une acquisition de l'ensemble de la face étant trop longue avec les paramètres souhaités, il a donc été nécessaire de diminuer le champ d'acquisition. Celui-ci s'est donc limité à une acquisition des deux tiers inférieurs de la face, d'une ligne parallèle à la ligne bipupillaire passant par la glabre à une ligne parallèle à la ligne bipupillaire passant par le menton. Les paramètres du protocole 1 sont colligés dans le tableau IV.3. Le temps d'acquisition était alors de 20 minutes. Cette séquence se focalise sur une zone d'intérêt et permet d'obtenir lors d'une seule acquisition la totalité des muscles périlabiaux et la partie inférieure du muscle orbiculaire des lèvres. De la même façon, une acquisition de la partie supérieure de la face peut être réalisée du vertex

jusqu'à la ligne bipupillaire. Si le sujet n'a pas bougé, les deux séquences peuvent être réunies en une seule pour obtenir une acquisition de la totalité des muscles peauciers.

Pour l'étude du grand zygomatique, c'est une acquisition basée sur une séquence 3DFSPGR sagittal T1 qui a été réalisée (annexe 4) (Tableau IV.3)

Nom du Protocole	Séquence	Fréquence	Phase	Nex	FOV	TR	TE	Champ d'acquisition	Matrice	Épaisseur de coupes (mm)
Protocole 1	Axial T1	256	256	2	256	430	12,1	24x24	512x512	1,6
Protocole 2	3DFSPGR Sagittal T1	416	288	1	x	x	x	24x24	512x512	1,6

Tableau IV.3 : paramètres des séquences du protocole 1 et 2.

### IV.1.3.B. Description du protocole

#### IV.1.3.B.a Protocole d'Acquisition IRM

Pour chacun des 5 sujets, une acquisition IRM (protocole 2) a été réalisée.

Chez le sujet SIMOVI LD, ont été réalisées :

- deux acquisitions IRM (protocole 1) au repos et dans la position de mouvement n°3 (protrusion labiale sur le son [o], selon le protocole décrit au chapitre III)
- une acquisition IRM (protocole 2) au repos et dans la position de mouvement n°3, n°4, n°5 (protrusion labiale sur le son [o], sur le son [pμ], étirement des commissures).

#### IV.1.3.B.b Segmentation 3D et Reconstruction Géométrique

Les fichiers Dicom des séquences IRM réalisées sont importés dans le logiciel Simpleware, module ScanIP (Simpleware Ltd Exeter. Royaume-Uni). Sur ces fichiers, et coupe par coupe les muscles peauciers sont repérés, segmentés et reconstruits à l'aide du logiciel. Cette segmentation est manuelle. Un « masque » est réalisé pour chaque muscle, cela consiste à attribuer à chacun des muscles une couleur différente lors de la segmentation. Les contours des structures anatomiques ont été identifiés et tracés à la main. L'ensemble des pixels identifiés comme appartenant au même muscle est « coloré ». Ainsi chaque muscle peaucier est identifié sur les coupes IRM, selon une couleur de masque.

En pratique, la segmentation d'un muscle a été vérifiée sur le plan de coupes axiales, sagittales et coronales afin de vérifier la correspondance des contours anatomiques.

Figure IV.2. : Masque

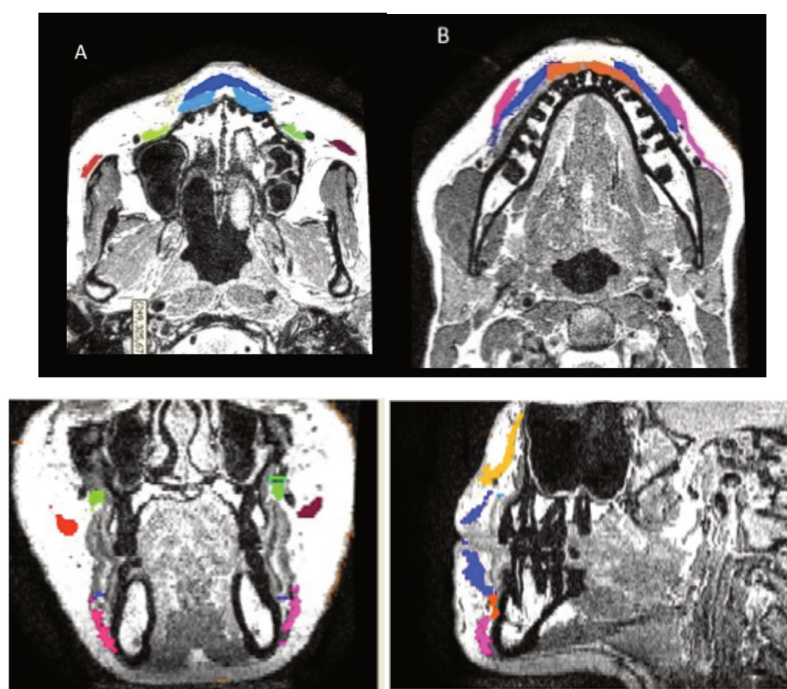


Figure IV.3. : Segmentation des muscles peauciers

A. zygomaticus major en rouge et carmin; levator anguli oris; en vert, levator labii superioris en jaune, orbicularis labii en bleu and depressor septi en bleu clair. B. orbicularis labii en bleu, les muscles de la houppe, depressor labii inferioris en orange, depressor labii inferioris en rose..

Même si le tissu musculaire possède une apparence homogène en terme de signal, la taille des muscles rend difficile la tâche de segmentation. Il s'agit en effet, de rechercher les pixels de même



intensité lumineuse et représentant le même muscle pour les relier. Cette étape requiert donc une connaissance approfondie de l'anatomie humaine et de ses variations (cf. § 1.1.3).

La segmentation manuelle a été réalisée minutieusement afin d'assurer la bonne détection de la limite des différents muscles et de les individualiser par rapport aux tissus et structures anatomiques environnantes.

#### IV.1.3.B.c Méthodes d'obtention des propriétés morphométriques des muscles segmentés

Après segmentation les surfaces reconstruites sont exportées automatiquement par le logiciel de CAO en format STL (stéréolithographie) afin de pouvoir être exploitées. Ce fichier est un fichier de données informatiques comportant des informations sur la géométrie tridimensionnelle de l'objet d'intérêt. Il est notamment utilisé en CAO pour la stéréolithographie et le prototypage rapide.

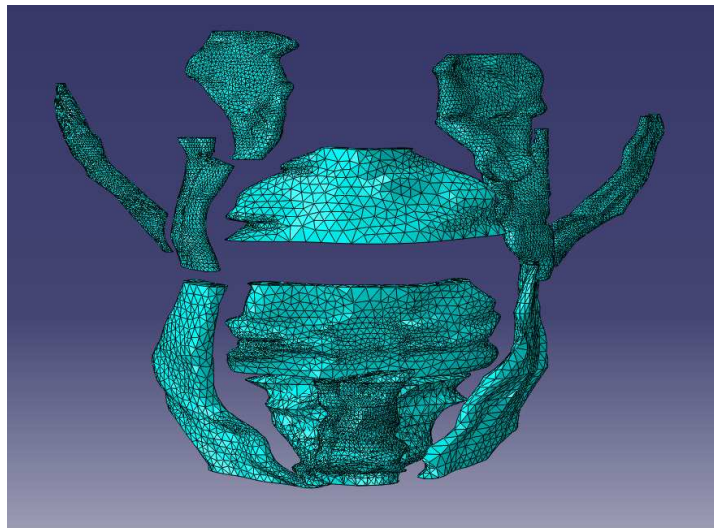


Figure IV.4 : Exemple de fichiers STL des différents muscles reconstruits et segmentés chez le sujet SIMOVI LD

- Méthode automatique

A partir du fichier STL et d'un logiciel développé au sein du laboratoire BMBI intégrant les algorithmes de type Python (Python Software Foundation. USA). Numpy and ITK/VTK (KitwareInc. USA) comme outils de programmation. Des mesures morphométriques ont pu être obtenues.

Le volume musculaire a été calculé en considérant le volume intérieur à la surface musculaire reconstruite ( $\rho=1.05 \text{ g/cm}^3$ ), un voxel représentant alors  $1\text{mm}^3$ . La longueur a été calculée en reliant les barycentres de coupes intramusculaires par des segments, et en additionnant la longueur de ses

segments sans interpolation. L'épaisseur du muscle a été calculée dans la direction de la normale à la longueur du muscle ( Fig. IV.5)

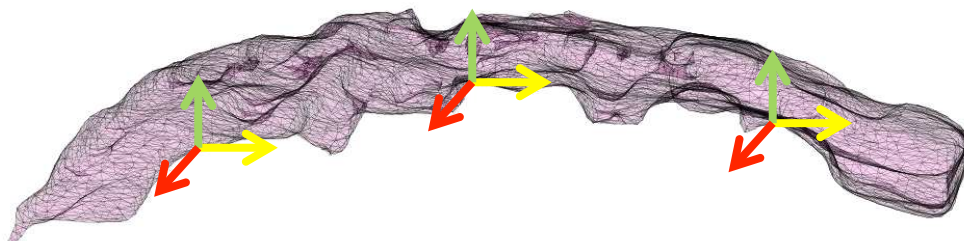


Figure IV.5. : Normale à la longueur du muscle en vert (exemple du muscle abaisseur de l'angle de la bouche), direction ayant permis le calcul de l'épaisseur moyenne en vert). Vue schématique (haut à gauche de l'image, bas à droite, avant en haut de l'image)

- Méthode manuelle via Patran

Le schéma ci-dessous récapitule la méthode utilisée (Fig IV.6.)

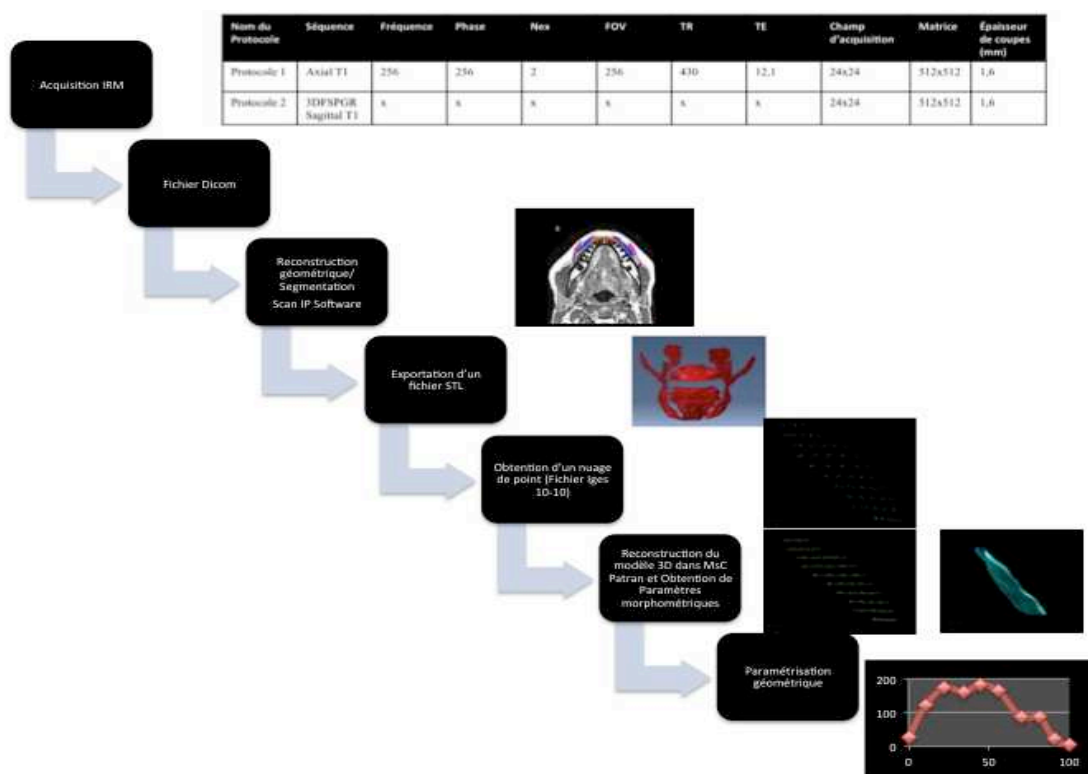


Figure IV.6 : Description de la méthode manuelle via PATRAN .

A partir du fichier STL, un fichier IGES (Initial Graphics Exchange Specification) est un format standard d'exportation de données graphiques, importable dans les logiciels de CAO. Ces données



permettent de travailler à partir d'un nuage de points, de reconstruire les surfaces et volumes afin de permettre ensuite les calculs des propriétés morphométriques. A partir des nuages de points, les muscles ont été reconstruits. D'abord il a été nécessaire de créer 10 courbes passant par 10 points puis une spline de Bézier a été reconstruite. Ensuite la surface a été reconstruite. Chacun des muscles sélectionnés et segmentés au chapitre précédent a été reconstruit ainsi. (Fig IV.7.)

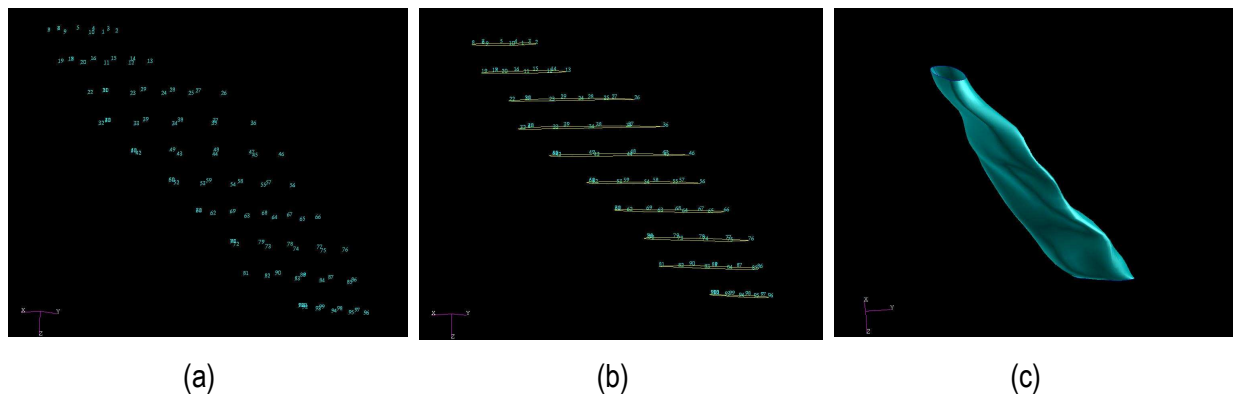


Figure IV.7 : Images 2D de nuages de points 3D(a), reconstructions géométriques courbes (b) et surfaces (c)

Grâce aux fonctions du logiciel Patran. Nous avons pu recueillir les données suivantes : longueur, moments principaux d'inertie, calcul des déplacements et déformations.

#### - Longueur (ligne d'action)

A partir des 10 coupes principales du muscle segmenté et les contours reconstruits, les coordonnées des barycentres de chacune des coupes ont été calculées. Par chacun des barycentres, une nouvelle courbe est alors tracée, représentant la longueur du muscle (Fig IV.8).



Figure IV.8 : Obtention de la longueur du muscle.

#### - Moments principaux d'inertie

Il s'agit d'une grandeur physique qui caractérise la géométrie des masses d'un solide. Leur valeur

dépend de la forme géométrique du solide et de la distribution de la masse en chaque point (masse volumique). Pour un solide homogène, cette masse est constante, et les moments principaux d'inertie ne dépendent alors que de la forme géométrique du solide. Ces moments d'inertie sont notés  $I_1, I_2, I_3$ .

Grâce aux fonctions d'extractions de courbe chaque portion de ligne d'action située entre les niveaux de coupe a été mesurée et rapportée à la longueur et exprimée en %.

Le moment d'inertie  $I_1$  a été calculé à chaque coupe (curve) et rapporté au niveau de la coupe en % de longueur de muscle. Une courbe de paramétrisation a été obtenue en rapportant  $I_1$  en fonction du % de longueur pour les muscles grand zygomatique en position neutre ( $n=10$ ).

#### - Calcul des déplacements et déformations

A partir des données expérimentales, les déplacements moyens entre la position neutre et la position finale des différents mouvements spécifiques ont pu être calculés (Ho Ba Tho et al, 2013).

Pour le muscle grand zygomatique, les déformations de la ligne d'action entre la position neutre et la position [o], la position [pμ] et la position sourire ont été calculées avec :

$$\varepsilon = \frac{L_n - L_o}{L_n}, \quad \varepsilon = \frac{L_n - L_{pu}}{L_n}, \quad \varepsilon = \frac{L_n - L_{sourire}}{L_n}$$

Pour les muscles levator labii superioiris, levator anguli oris, depressor anguli oris, les déformations de la ligne d'action entre la position neutre et la position O ont été calculées avec :

$$\varepsilon = \frac{L_n - L_o}{L_n}, \text{ en prenant le barycentre de l'insertion musculaire osseuse comme point fixe et où } L_n$$

correspond à la ligne d'action en position neutre et  $L_o$  à la ligne d'action en position O.

L'aire (ou l'amplitude) de déplacement des lignes d'action entre les positions neutres et O a été calculée en  $mm^2$ . Les vecteurs de déplacement (vecteur directeur de l'aire de déplacement) ont été calculés.

### IV.1.4. Analyse de précision et reproductibilité de la segmentation

#### IV.1.4.A. Analyse de précision

Pour tester l'exactitude de notre processus de calcul, un fantôme a été conçu et fabriqué avec des propriétés bien connues (Tableau VI.4).

Ce fantôme est en PVC (Fig. IV.9).



Figure IV.9 : Photographie du fantôme

Pour permettre l'acquisition, il a été introduit dans un tube à essai contenant de l'eau afin de créer deux phases différentes. Après segmentation (Fig IV.10), les caractéristiques morphométriques du fantôme obtenues grâce à notre protocole ont été comparées à celles connues.

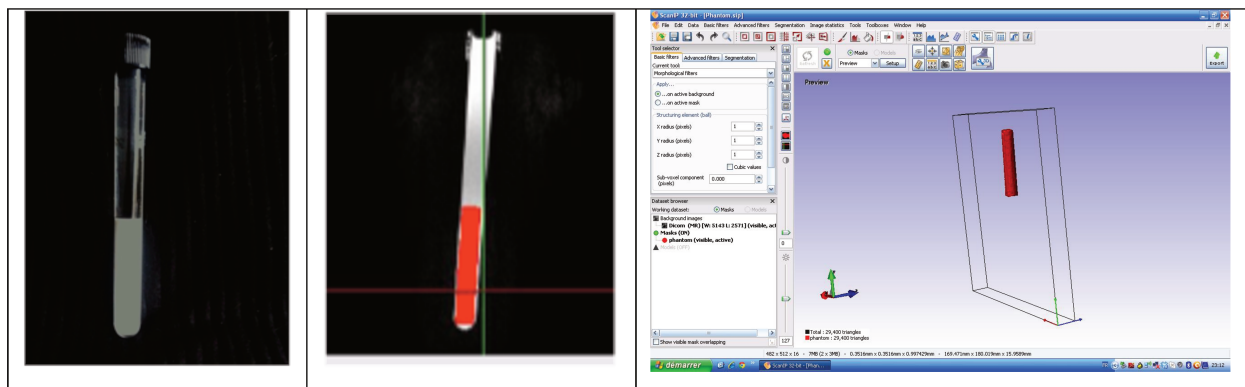


Figure IV.10 : Fantôme placé dans un tube à essai rempli d'eau pour le passage en IRM. Image IRM du Fantôme et Segmentation. Reconstruction tridimensionnelle et modèle géométrique Scan IP.

DIAMÈTRE (précision au 100 <sup>e</sup> )	LONGUEUR (précision au 10 <sup>e</sup> )	VOLUME ( $\pi R^2 h$ )
10,00 mm	60,09 mm	4717,065 mm <sup>3</sup>

Tableau IV. 4 : Données morphométriques théorique du fantôme.

Les paramètres de la séquence IRM pour l'acquisition du fantôme sont ceux du protocole 1 (cf § IV.1.3.A).

#### IV.1.4.B. Obtention des mesures et comparaison aux données du fantôme

Les images IRM du fantôme ont été segmentées et reconstruites avec le même processus que pour les muscles d'intérêt. Puis les données morphométriques (longueur et volume) ont été calculées selon le protocole. Enfin, l'erreur relative entre les valeurs connues et les valeurs calculées a été

quantifiée pour chaque propriété morphologique (Tableau IV.5). Cette valeur relative est de 0.069 pour le volume. Cela correspond à un pourcentage d'erreur de 6.99%.

Volume			Longueur			pCSA		
Théorique	Calcul	ER (%)	Théorique	Calculée	ER (%)	Théorique	Calculée	ER (%)
4717.065 mm <sup>3</sup>	5047	6,99	60,09	60,33	0,4%	78,52	83,66	6,1

Tableau IV.5 : Erreur relative entre les dimensions connues du fantôme et celles calculées.

#### IV.1.4.C. Reproductibilité de la segmentation

Afin de connaître la reproductibilité de notre méthode lors de la segmentation manuelle, le muscle zygomaticus major du sujet simovi LD a été segmenté à 2 reprises, lors de 2 acquisitions différentes et le volume musculaire a été comparé. En effet, l'erreur est portée au cube sur le volume dans les mesures déduites à partir de la segmentation. Les volumes calculés devraient être identiques, les écarts s'expliquent par l'erreur de reproductibilité de l'opérateur (considération d'un pixel appartenant ou n'appartenant pas au muscle). Les résultats sont figurés ci-dessous avec  $V_{\text{mesure 1}}=578 \text{ mm}^3$  et  $V_{\text{mesure 2}}= 624\text{mm}^3$ .

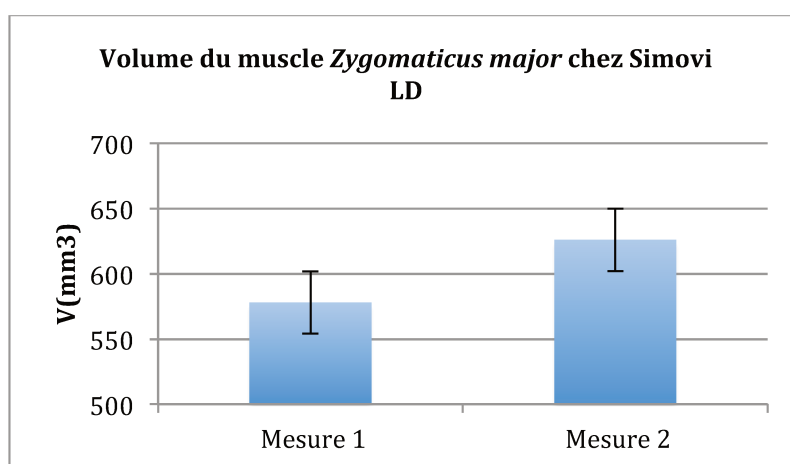


Figure IV.11 : Segmentation du muscle zygomaticus major à partir de 2 acquisitions différentes protocole 1 et calcul du volume.

Chez ce volontaire le volume neutre calculé à partir de la segmentation du zygomaticus major est donc de  $602 \pm 24 \text{ mm}^3$  soit une erreur de 4 %.

L'erreur relative de segmentation du même muscle dans différentes positions a été calculée et colligée dans le tableau ci dessous et représentée graphiquement.

Position	Volume en mm <sup>3</sup>	Erreur relative (Vm-Vn)/Vn en %
Mesure en position [o]	699	16,1
Mesure en position [pμ]	614	1,9
Mesure en position sourire	716	18,9

Tableau IV.6 : Résultats de la segmentation du muscle zygomaticus major dans différentes positions et erreur relative constatée.

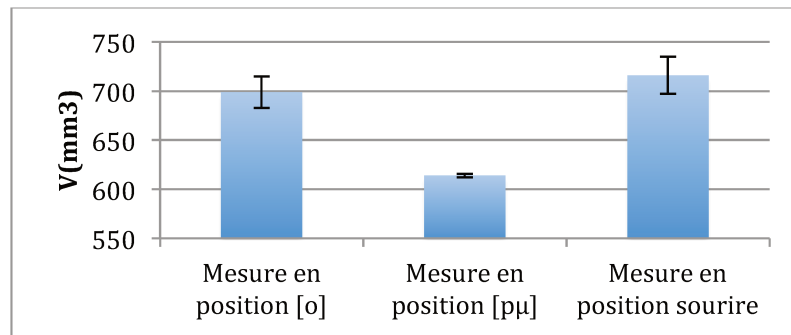


Figure IV.12. Représentation graphique des résultats de la segmentation du muscle zygomaticus major dans différentes positions et erreur relative par rapport à la moyenne des volumes calculés dans la position neutre.

## IV.2. RESULTATS

### IV.2.1. Morphométrie de 13 muscles peauciers (N=13) chez 1 sujet en position neutre et en position O.

Chez le sujet SIMOVI LD. 13 muscles peauciers ont été segmentés et reconstruits en position neutre (Fig. IV. 13) et finale du mouvement n°3 (Fig IV.14) (cf. chapitre III). Il s'agissait de muscles pairs releveur de la lèvre supérieure, orbiculaire des lèvres, canin, grand zygomatique, abaisseur de l'angle de la bouche et du muscle de la houppe (mentonnier) ainsi que l'orbiculaire des lèvres et le myrtiforme. Les muscles petit zygomatique et risorius étant absents chez ce sujet, ils n'ont pas été reconstruits.

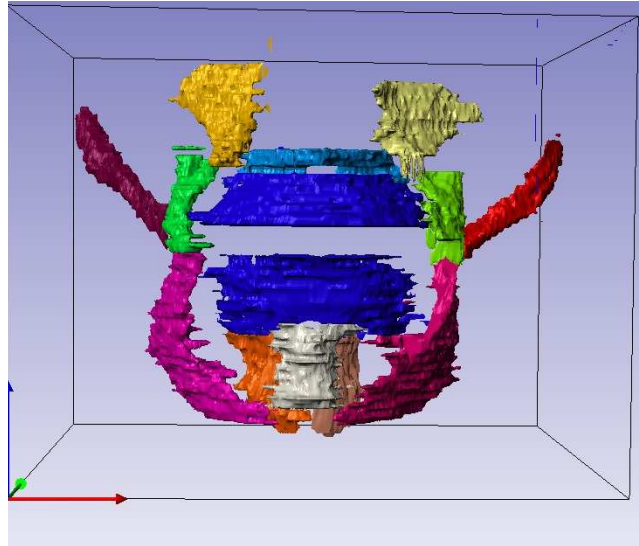


Figure IV.13 : résultats graphiques de la reconstruction géométrique tridimensionnelle en position neutre sujet SIMOVI LD: releveur de la lèvre supérieure (levator labii superioris en jaune), orbiculaire des lèvres (orbicularis labii en bleu), canin (levator anguli oris en vert), grand zygomatique (rouge), abaisseur de l'angle de la bouche (depressor anguli oris en rose), muscle de la houppe (mentalis en blanc), muscle carré du menton (depressor labii inferioris en orange).

Muscle en position neutre	Volume (mm <sup>3</sup> )	Epaisseur (mm)	Longueur(mm)	pCSA (mm <sup>2</sup> )
Left levator anguli oris	624,1	2,15	38,98	16,01
Right levator anguli oris	644,5	1,85	44,69	14,42
Left Depressor labii inferioris	586	1,22	28,4	20,63
Right Depressor labii inferioris	744	1,44	40,6	18,32
Right zygomaticus major	578,1	1,61	52,62	10,99
Left zygomaticus major	465,6	1,95	52,21	8,92
Musculus mentalis	750,3	1,87	47,75	15,71
Orbicularis oris	3222	1,87	190,20	16,94
Superior orbicularis oris	1665	1,86	73,47	22,66
Inferior orbicularis oris	1557	1,51	90,23	17,26
Right levator labii superioris	868,9	1,41	56,17	15,47
Left levator labii superioris	905,5	1,72	51,30	17,65
Right depressor anguli oris	2097	2,09	73,95	28,36
Left depressor anguli oris	1511	1,78	73,25	20,63

Tableau IV.7. Morphométrie des muscles peauciers en position neutre

#### IV.2.4.B. En position du O

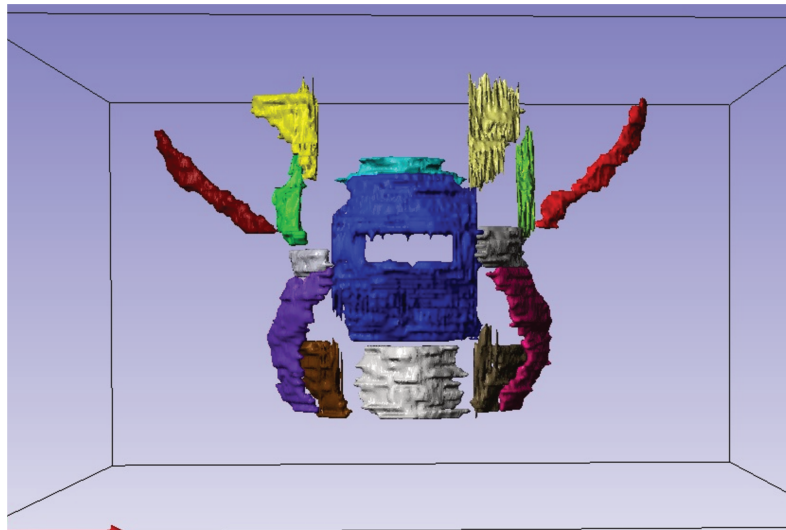


Figure IV.14. : reconstruction géométrique tridimensionnelle en position O : releveur de la lèvre supérieure (levator labii superioris en jaune), orbiculaire des lèvres (orbicularis labii en bleu), canin (levator anguli oris en vert), grand zygomatique (rouge), abaisseur de l'angle de la bouche (depressor anguli oris en rose et violet), muscle de la houppe (mentalis en blanc), muscle carré du menton (depressor labii inferioris en brun).

### IV.2.2. Paramétrisation morphologique du muscle zygomatique major en position neutre.

Dans cette partie sont décrits, les différents paramètres de caractérisation du muscle grand zygomatique obtenus grâce à la méthode automatique et la méthode Patran.

#### IV.2.2. A. Résultats obtenus par la méthode automatique

Les volumes, longueurs et épaisseurs de 10 muscles ont été calculés par la méthode automatique. Les résultats sont colligés dans les figures IV.15, IV.16, et IV.17, ainsi que le tableau IV.7.

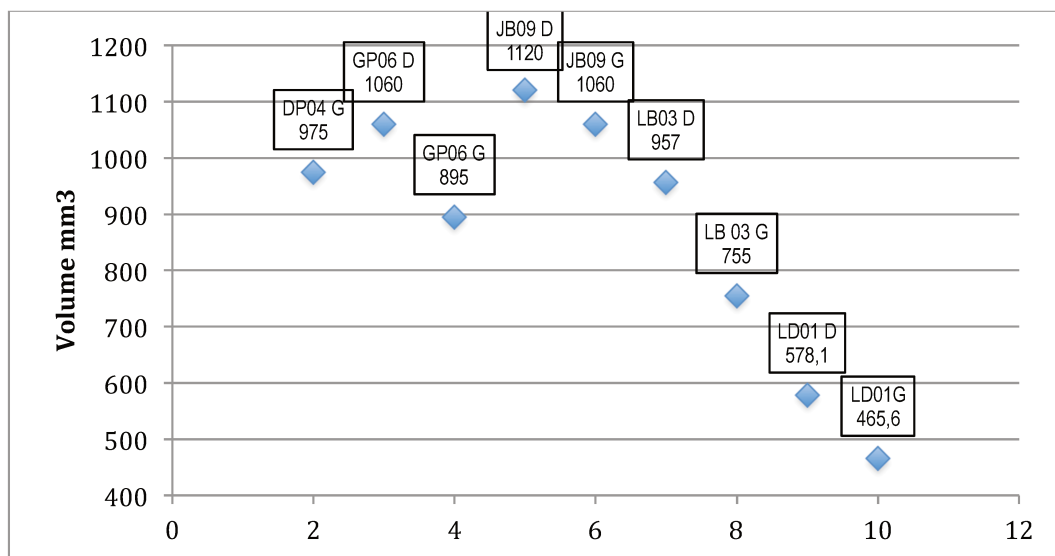


Figure IV.15. : Volume du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population.

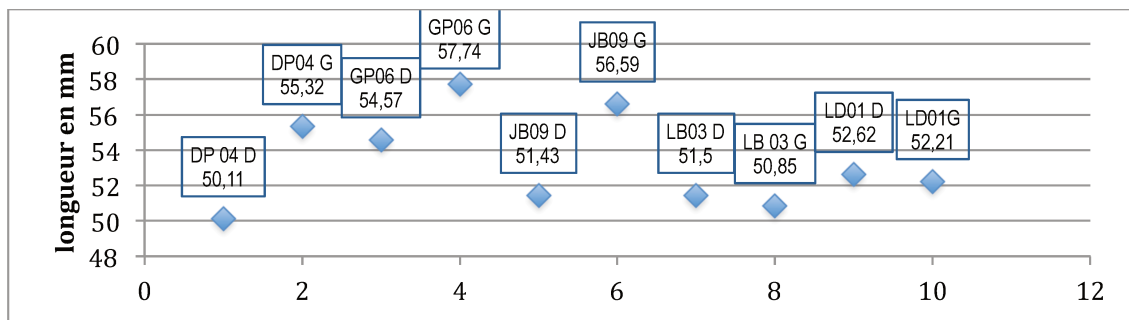


Figure IV.16. : Longueur du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population.

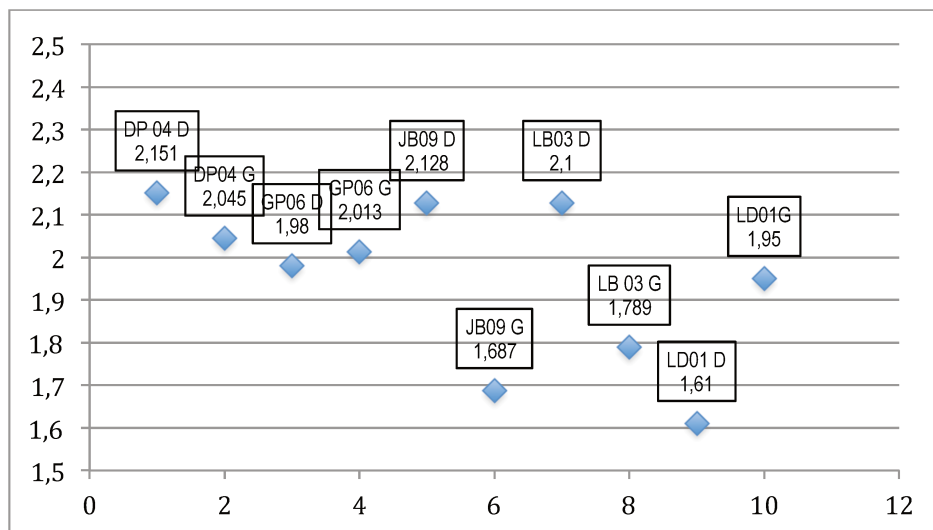


Figure IV.17 : Épaisseur du muscle grand zygomatique droit et gauche dans notre population

Paramètre	Moyenne	Ecart-type	Moyenne (Zygomaticus Major Dt)	Moyenne (Zygomaticus major G)
Zygomaticus Major (Volume mm3)	941	188	1099	975
Zygomaticus Major Longueur	53,3	2,5	52	54
Zygomaticus Major Épaisseur	1,95	0,19	2	1,9

Tableau IV.7bis : Valeurs moyennes des paramètres de volume, de longueur et d'épaisseur du muscle grand zygomatique obtenues dans notre population

#### IV.2.2.B. Résultats obtenus par la Méthode Patran.

Selon la méthode décrite (§ IV.1.3.B.c), les moments d'inertie I1,I2, la longueur, ainsi que les rapports I1/I2 ont été obtenus pour les zygomaticus major des volontaires SIMOVI DP04, GP06, JB09 (Droit et Gauche) et SIMOVI LD01 (droit) et LB03 (gauche) et sont colligés à l'annexe 5. Dans cette partie de résultats sont décrits : a) la similitude des variations de moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur, b) le profil de courbe des moments d'inertie I1 des muscles zygomatiques en fonction du pourcentage de longueur pour chacun des muscles, c) les deux tendances majeures de profils de courbe qui serviront à la paramétrisation du zygomaticus major.



#### IV.2.2.B.a. Similitude des variations de moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur

Pour l'ensemble de ces muscles, le moment d'inertie I2 en fonction du pourcentage de longueur de muscle varie de façon identique au moment d'inertie I1, avec I2 inférieur à I1.

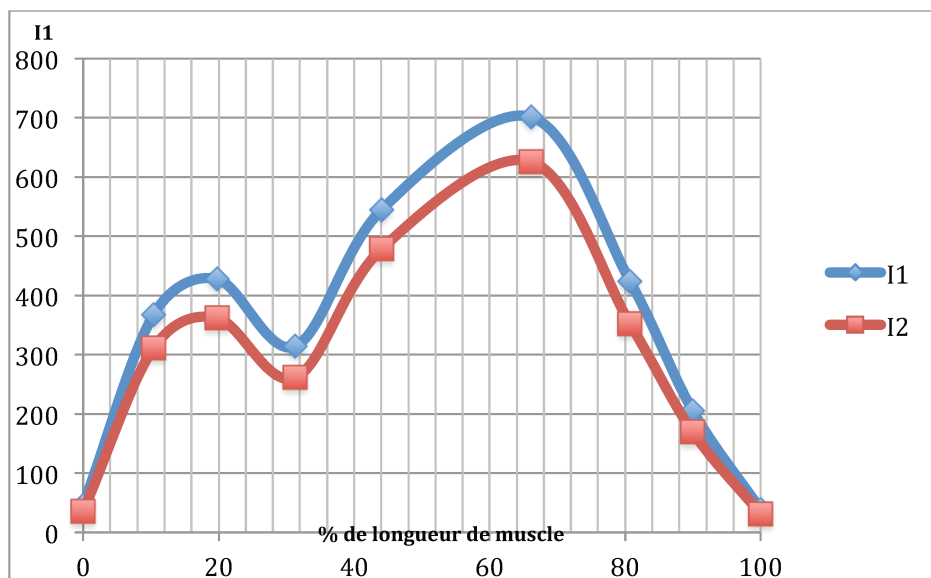


Figure IV.18 : exemple de variation des moments d'inertie I1 et I2 en fonction du % de longueur pour le sujet SIMOVI DP04.

#### IV.2.2.B.b Courbe des moments d'inertie I1 des muscles zygomatiques en fonction du pourcentage de longueur

Le moment d'inertie I1 a été représenté en fonction du pourcentage de longueur pour chacun des muscles. Les courbes obtenues sont figurées ci-dessous.

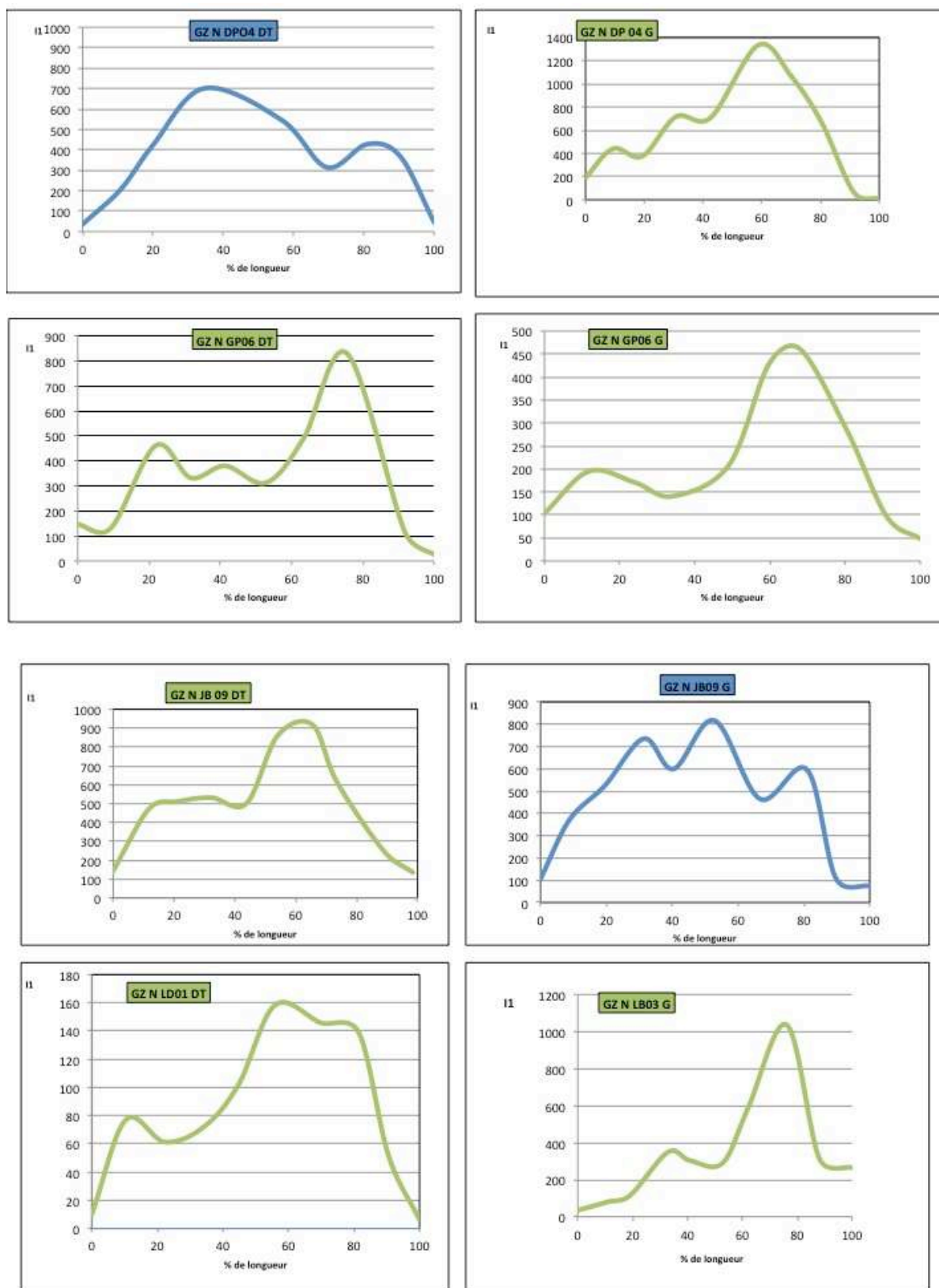


Figure IV.19 : profil de courbe du moment d'inertie I1 en fonction du % de longueur des muscles zygomaticus major (DT=droit, G=gauche) des sujets SIMOVI DP04, GP06, JB09, et droit du sujet LD01, et gauche LB03.

### IV.2.2.B.c. Tendances des profils de courbe

Des regroupements par profil de courbe ont été réalisés selon 2 tendances : le profil 1 correspondant à une courbe « en cloche » (courbe bleue) avec une augmentation préalable de  $l_1$  dans la première portion de longueur d'action du muscle (0 à 50% de la longueur, le point 0 correspondant à l'insertion du muscle) (Fig IV.20) et le profil 2 (courbe verte) correspondant à une augmentation de  $l_1$  dans la deuxième portion de longueur (40 à 100% de la longueur) (Fig IV.21).

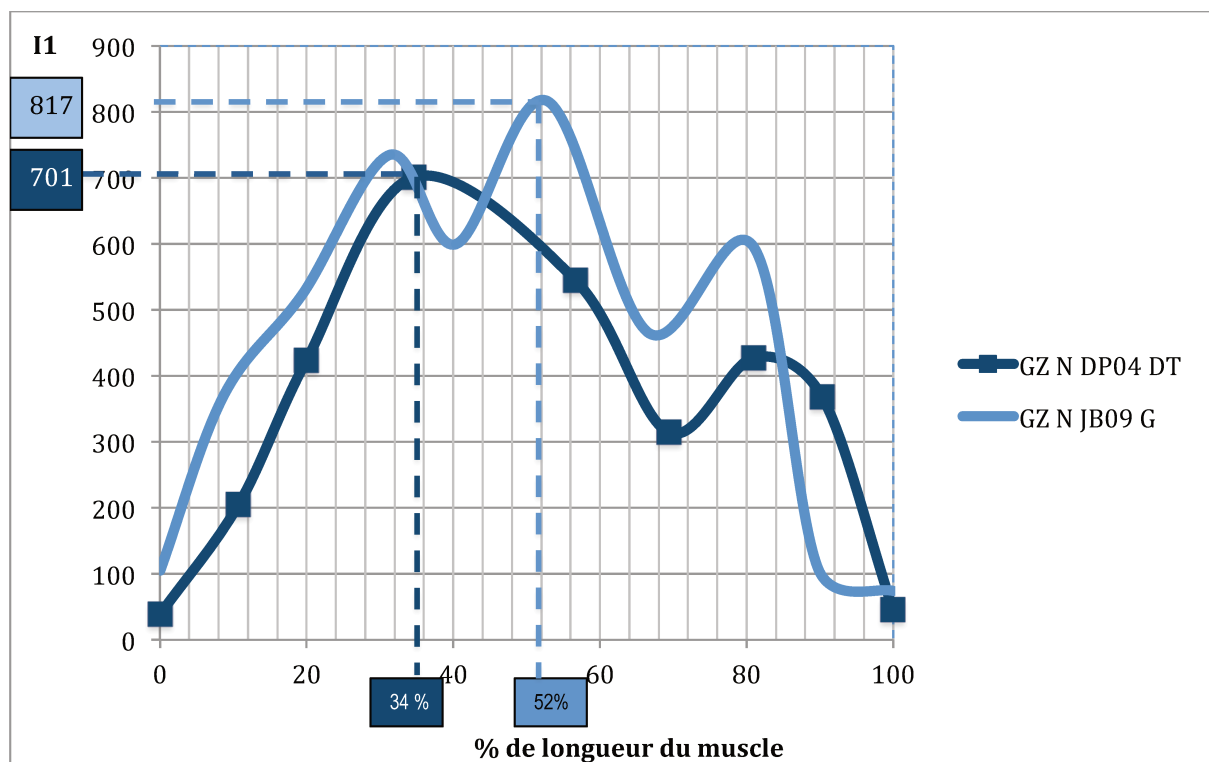


Figure IV.20 Profil de courbe en « cloche » avec augmentation de  $l_1$  dans la première moitié du muscle.

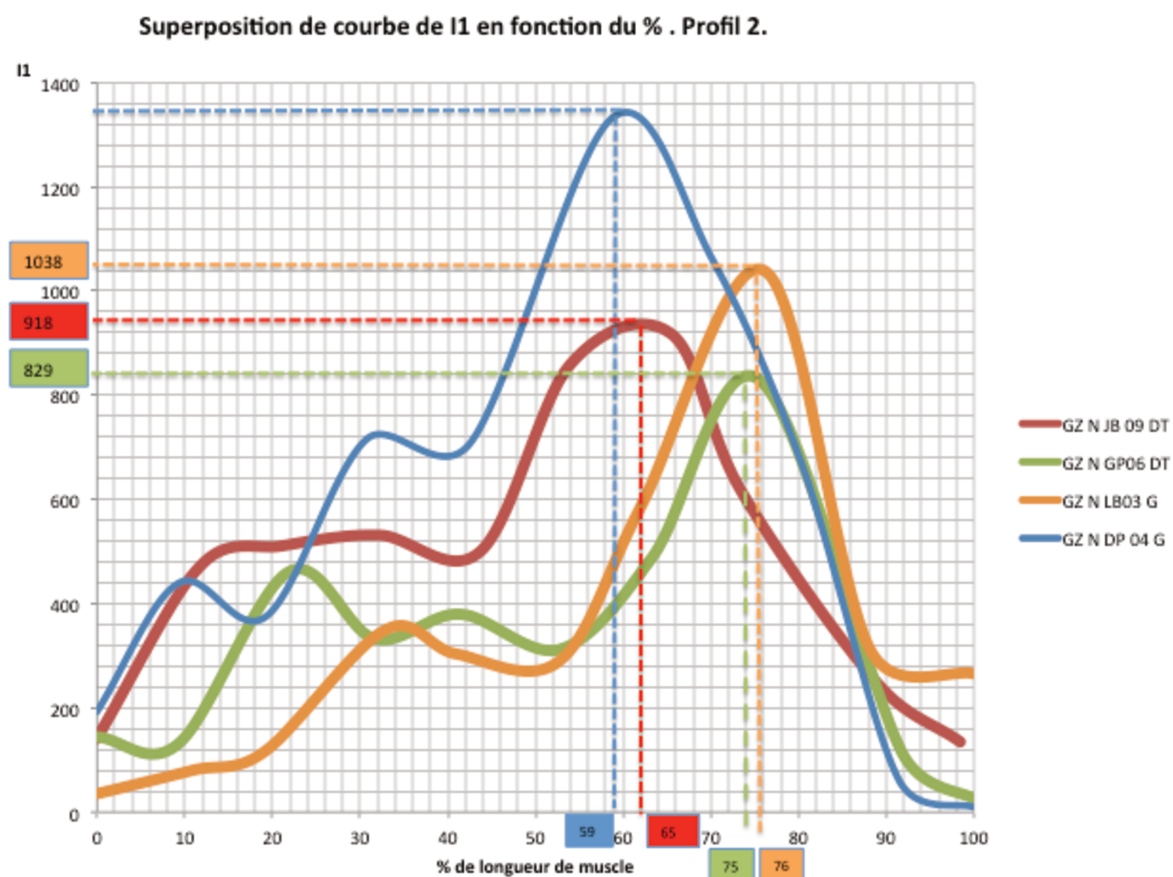


Figure IV.21: : Profil de courbe 2 avec augmentation de I1 dans la deuxième moitié du muscle.

### IV.2.3 Déplacements et Déformations des muscles peuciers dans différentes positions.

Dans cette partie sont décrits chez SIMOVI DP 01, les paramètres de comportements cinématiques (de déplacements et de déformations) à partir de modélisation du muscle grand zygomatique de simovi DP01 pour les positions O, POU et sourire ( § IV.2.3.A), de modélisation muscles élévateurs de la lèvre : Releveur de la lèvre supérieure( § IV.2.3.B) et Canin ( § IV.2.3.C), et de modélisation du muscle triangulaire ( § IV.2.3.D).

### IV.2.3.A. Zygomaticus major dans les positions [o], [pμ] et sourire

#### IV.2.3.A.a. Modélisation et courbe de profil de moment d'inertie (Pattern) pour le Zygomaticus major.

Les figures IV.22, IV.23 ,IV .24, IV.25, montrent les modélisations du zygomaticus major droit du sujet SIMOVI DP01 et les courbes de profil du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle.

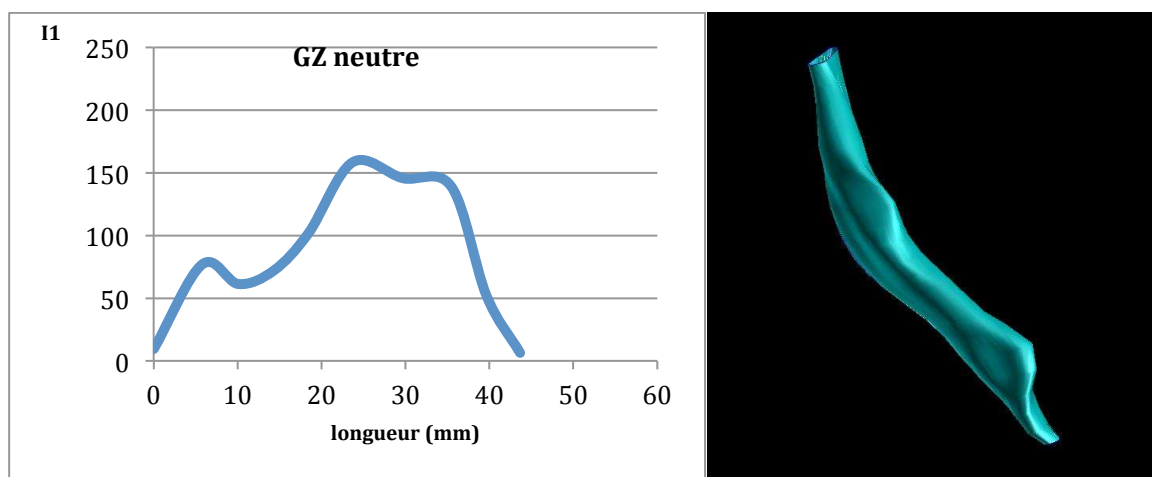


Figure IV.22. : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche.  
Modélisation du muscle zygomaticus major en position neutre à droite

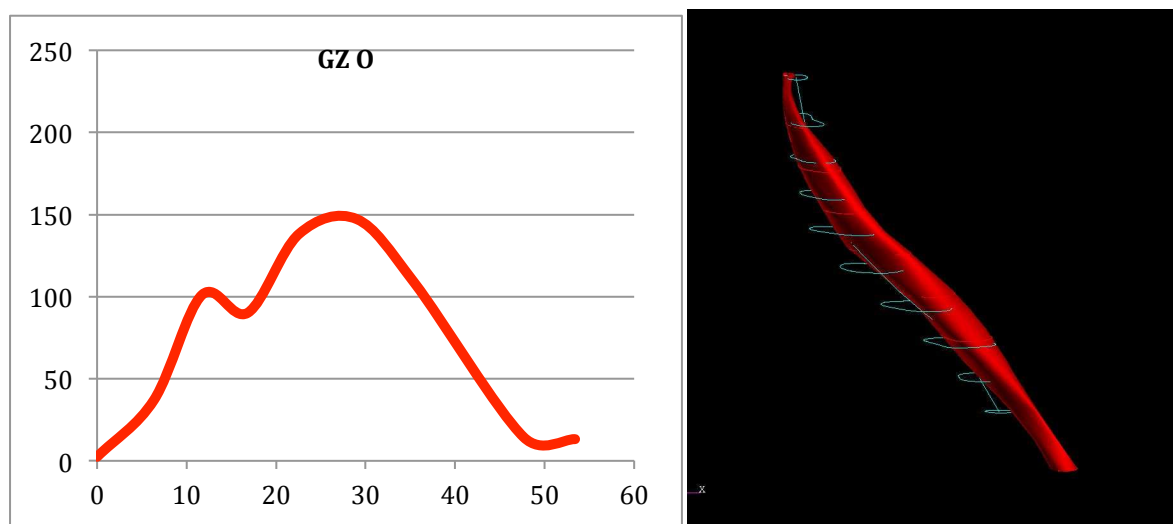


Figure IV.23. : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche,  
modélisation du muscle zygomaticus major sur la position [o] à droite.

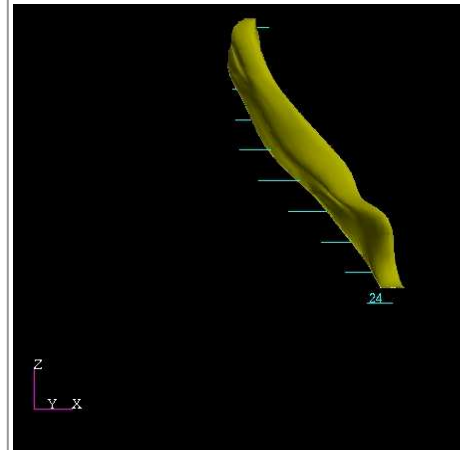
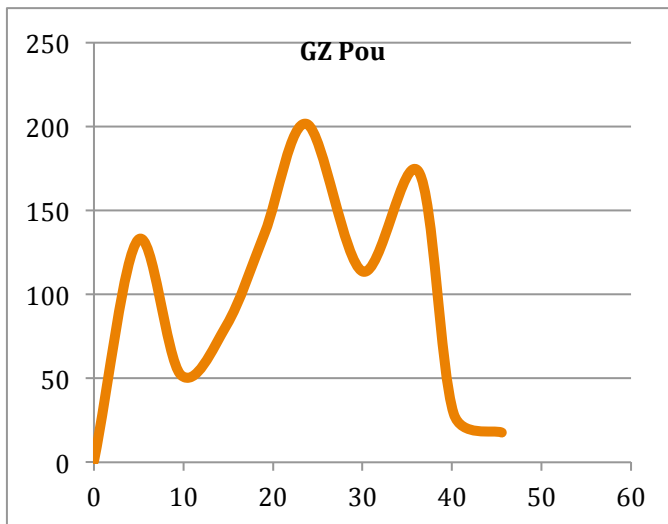


Figure IV.24. : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche, modélisation du muscle zygomaticus major sur la position [pμ] à droite,

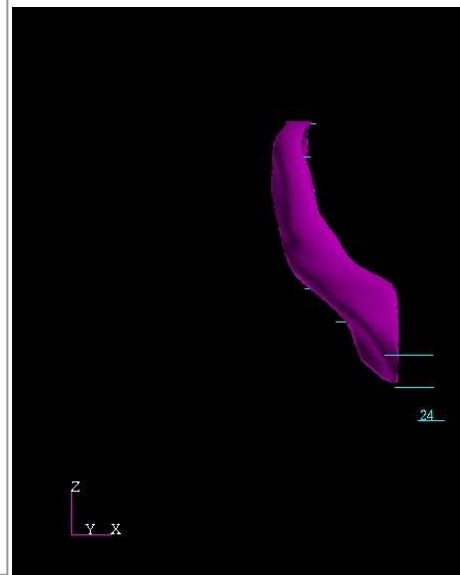
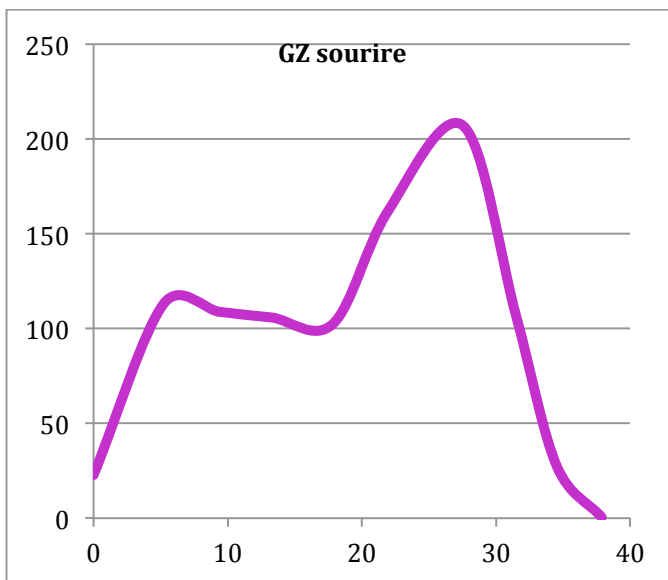


Figure IV.25. : Courbe du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle à gauche, modélisation du muscle zygomaticus major sur la position sourire à droite.

#### IV.2.3.A.b. Modification de longueur de la ligne d'action du muscle, « Pattern », Amplitudes de déplacements entre les lignes d'action.

Les modifications de longueur de la ligne d'action du muscle, les amplitudes de déplacement entre les 2 lignes d'action représentées par une surface et le vecteur directeur de l'extrémité de la ligne d'action sont colligés dans le tableau IV.8 .

<b>Zygomaticus Major Position</b>	<b>neutre</b>	<b>"O"</b>	<b>"Pou"</b>	<b>Sourire</b>
Longueur d'action (mm)	43,65	53,4	45,6	37,9
Déformation ( $\Delta L/L$ ) de la longueur d'action (%)		22%	4,50%	-13%
Amplitude de déplacement (aire en mm <sup>2</sup> )		84	147	70
Vecteur directeur		(6,6; -5,9;-4,6)	(3,3;-5,4;1,7)	(-5; 2,7;4)

Tableau IV.8 : longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action dans les différentes positions [o], [pμ] et sourire.

Les figures IV.26 et IV.27 illustrent les modifications de la ligne d'action dans les différentes positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la ligne neutre, avec un allongement de 22% pour la position [o], un raccourcissement de 13% pour la position sourire, et un court allongement de 4,5% pour [pμ].

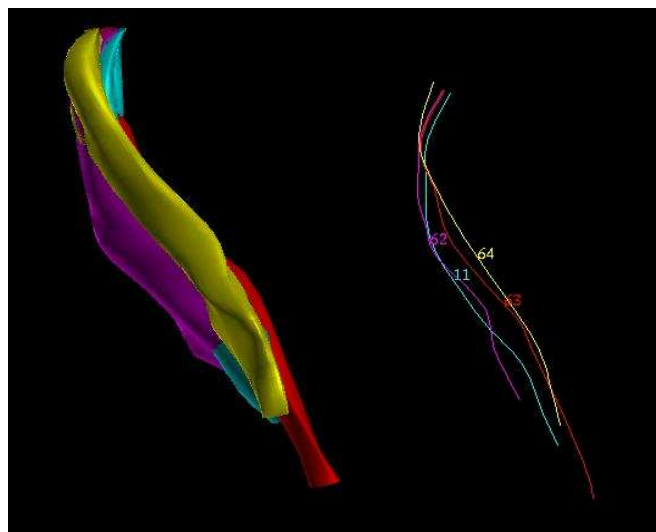


Figure IV.26. : Modification des lignes d'action dans les positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la position neutre, vue de face d'une modélisation du zygomaticus major droit de simovi DP01 (en bleu, ligne 11 position neutre ; en jaune ligne 64 position [pμ] ; en rouge ligne 63 position [o], en violet ligne 62 position sourire)

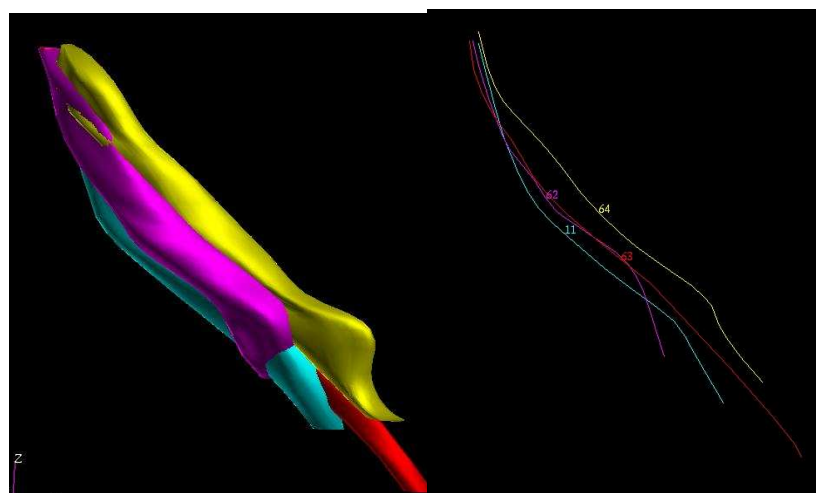


Figure IV.27. : Modification des lignes d'action dans les positions [o], [pμ] et sourire par rapport à la position neutre, vue latérale d'une modélisation du zygomaticus major droit de simovi DP01 (en bleu, ligne 11 position neutre ; en jaune ligne 64 position [pμ] ; en rouge ligne 63 position [o], en violet ligne 62 position sourire)

La figure IV.28 compare le « pattern » et la modélisation du zygomaticus major sur le son [pμ], l'amplitude de déplacement est modélisée à la figure IV.29.

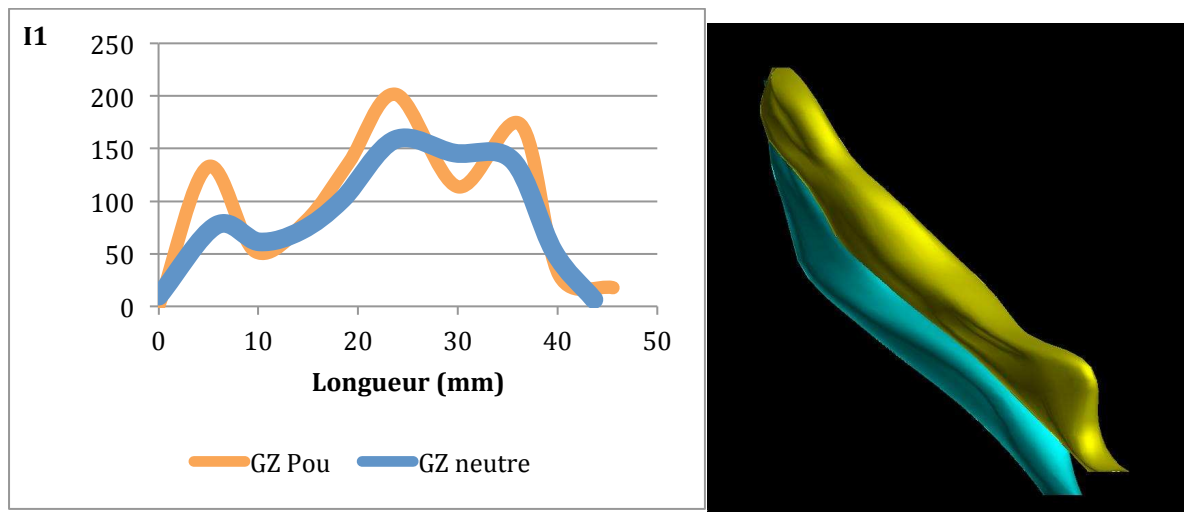


Figure IV.28. : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [pμ] par rapport à la position neutre à gauche, Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et [pμ] à droite.

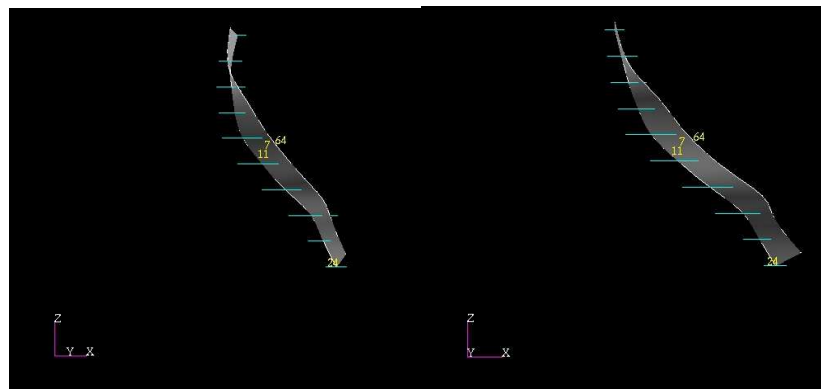


Figure IV.29. : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position [pμ], vue de face à gauche, latérale.

Pour la position [ pμ], le déplacement du muscle zygomaticus major se fait avec un allongement de la ligne d'action et l'extrémité se déplace vers l'avant, le dedans et le haut selon un vecteur de norme 6.5 et de coordonnées (mm)  $\begin{pmatrix} +3.3 \\ -5.4 \\ +1.7 \end{pmatrix}$  dans le repère considéré à la figure IV.30. L'aire de l'amplitude de déplacement est de 147 mm<sup>2</sup>.



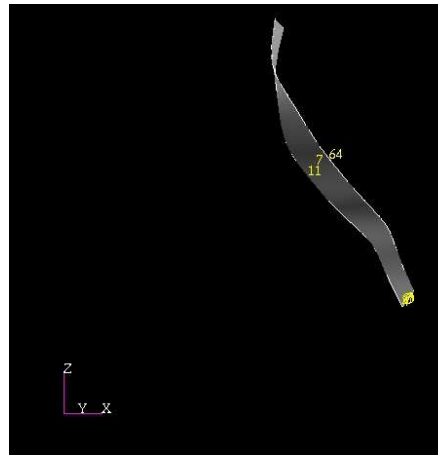


Figure IV.30. : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position [o].

La figure IV. 31 compare le « pattern » et la modélisation du zygomaticus major sur le son [o], l'amplitude de déplacement est modélisée à la figure IV.32.

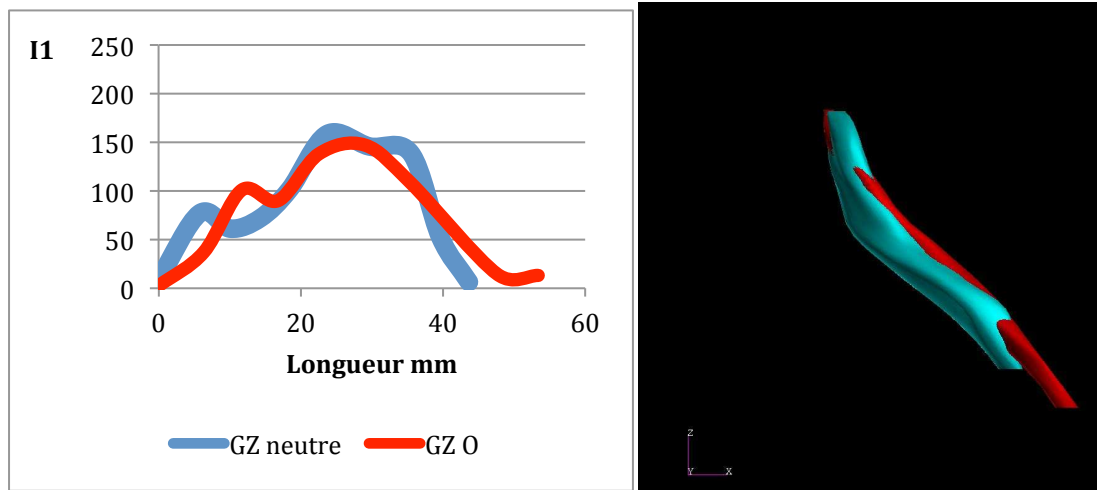


Figure IV.31 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et [o] à droite.

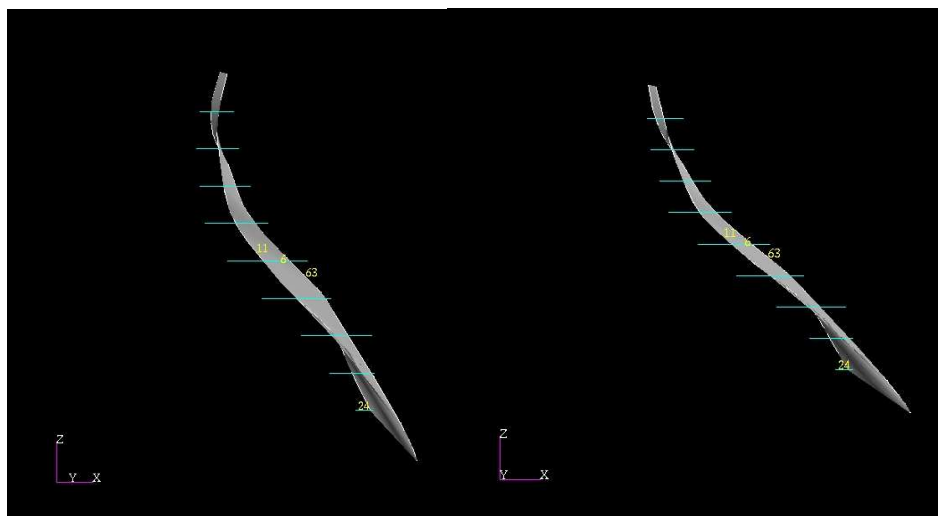


Figure IV.32. : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position [o], vue de face à gauche, latérale.

Pour la position [o], le déplacement du muscle zygomaticus major se fait avec un allongement de la ligne d'action, et l'extrémité du muscle zygomaticus major se déplace vers le dedans, le bas et l'avant, selon un vecteur de norme 10 mm, et de coordonnées  $v \begin{cases} +6.6 \\ -5.9 \\ -4.6 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure IV.33 L'aire de l'amplitude de déplacement est de 84 mm<sup>2</sup>.



Figure IV.33. : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position [o],

La figure IV. 34 compare le « pattern » et la modélisation du zygomaticus major sur la position sourire, l'amplitude de déplacement est modélisée à la figure IV.35.

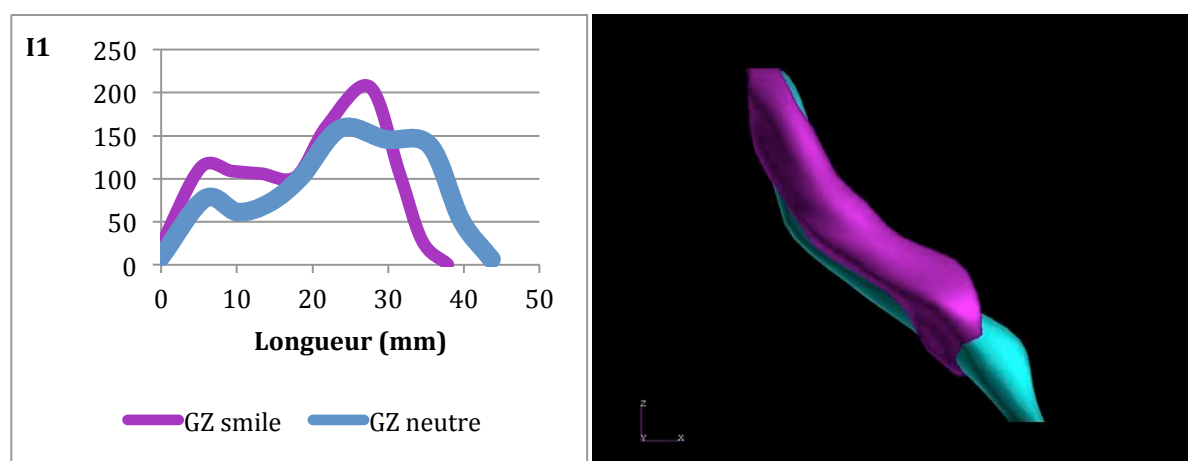


Figure IV.34. : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position sourire par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle zygomaticus major dans les positions neutre et sourire à droite.

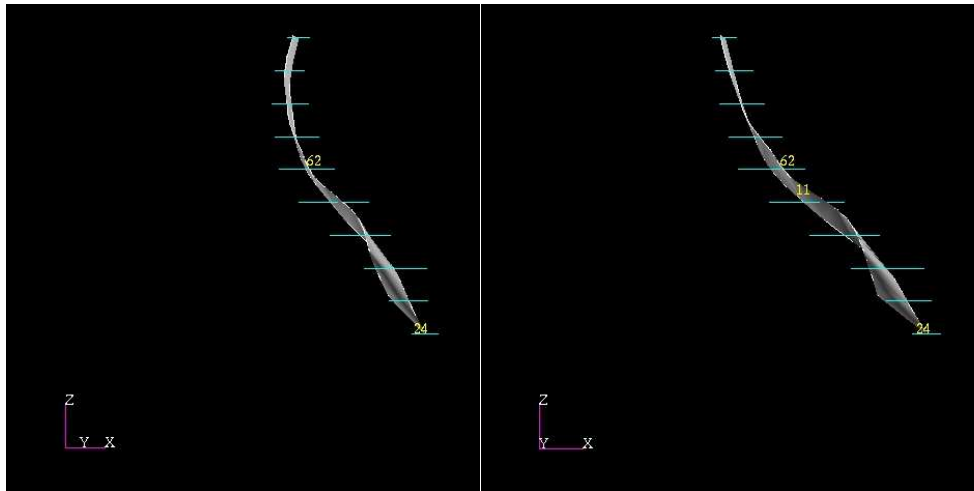


Figure IV.35. : Modélisation 3D de l'amplitude de déplacement du zygomaticus major de la position neutre à la position sourire, vue de face à gauche, latérale.

Pour la position sourire, le déplacement du muscle zygomaticus major se fait avec un raccourcissement de la ligne d'action et l'extrémité du muscle zygomaticus major se déplace vers l'arrière, le haut et le dehors selon un vecteur de norme 7 mm et de coordonnées  $v \begin{cases} -5 \\ +2,7 \\ +4 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure IV.36. L'amplitude de déplacement est de 70 mm<sup>2</sup>.



Figure IV.36. : Vecteur de déplacement de la terminaison du zygomaticus major entre la position neutre et la position sourire,

### IV.2.3.B. Levator labii superioris (releveur de la lèvre supérieur) dans la position [o]

La figure IV.37 montre les modélisations du levator labii superioris droit du sujet SIMOVI DP01 en position neutre et position [o] . Les « pattern » du muscle dans ces 2 positions sont représentés à la figure IV.39.

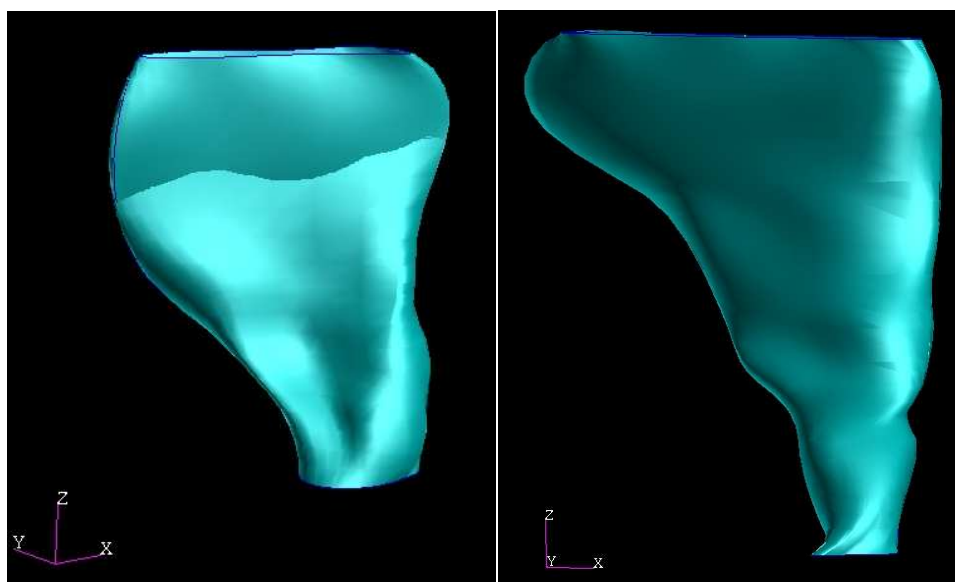


Figure IV.37. : Modélisation du muscle Levator labii en vue de face position neutre à gauche et position [o] à droite.

Les modifications de longueur de la ligne d'action du muscle (Fig. 4.38.), les amplitudes de déplacement entre les 2 lignes d'action représentées par une surface et le vecteur directeur de l'extrémité de la ligne d'action sont colligés dans le tableau IV.9 .

Levator labii superioris (releveur de la lèvre)	Position neutre	Position O
Longueur d'action (mm)	29,3	23,4
Déformation (DL/L) de la longueur d'action (%)		-20,1%
Amplitude de déplacement (aire en mm2)		102
Vecteur directeur (terminaison)		(6,44;-3,3; 4,6)

Tableau IV.9 : longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'insertion et de l'extrémité de la ligne d'action dans la position [o].

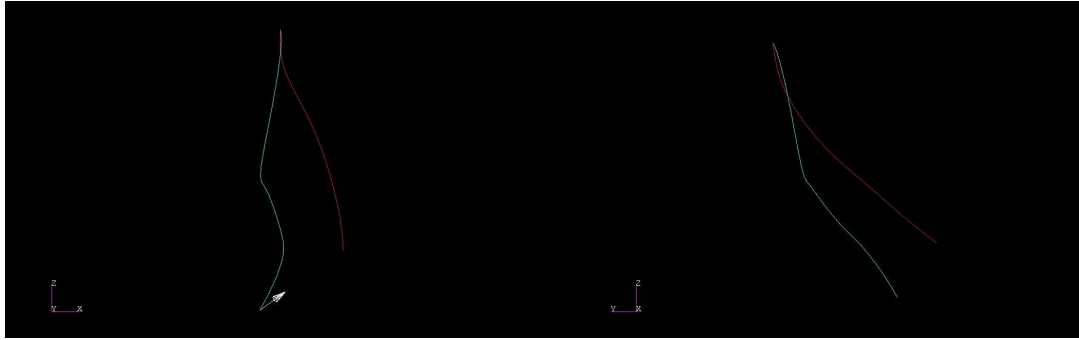


Figure IV.38. : Modification des lignes d'action du muscle releveur droit dans les position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à gauche, vue latérale à droite)

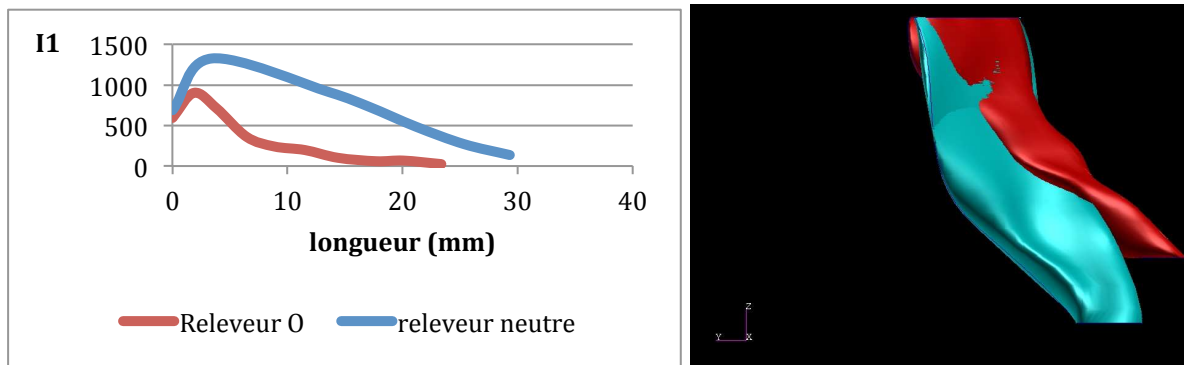


Figure IV.39 : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre (à gauche). Comparaison de la modélisation du muscle Levator labii superioris dans les positions neutre et [o] (à droite).

L'amplitude de déplacement est modélisée à la figure IV.40.

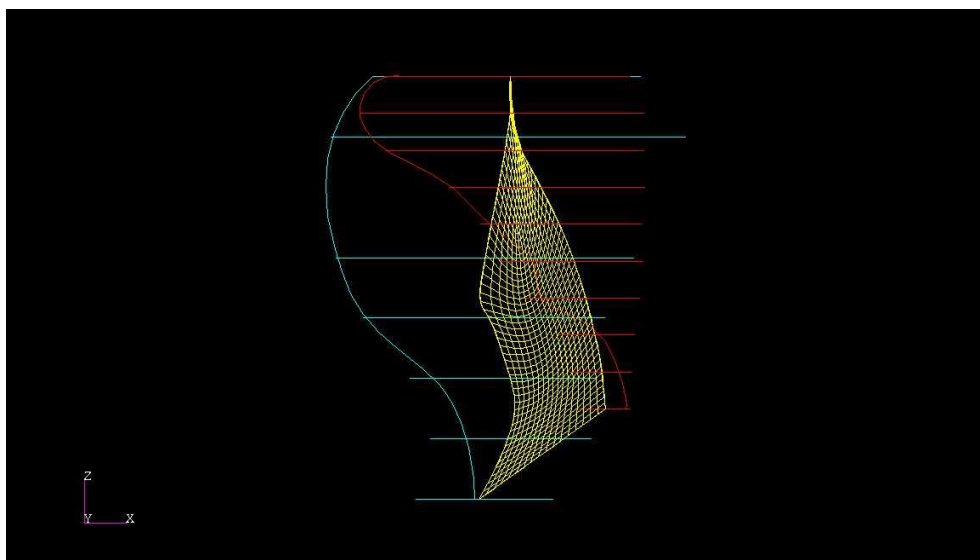


Figure IV.40. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position O (rouge) (vue de face d'un muscle releveur de la lèvre supérieure droite).

Pour la position [o], le déplacement du muscle levator labii superioris se fait avec un raccourcissement de la ligne d'action et l'extrémité du muscle se déplace vers le dedans, l'avant et le haut selon un

vecteur de norme 8,5 mm et de coordonnées  $v \begin{cases} +6,4 \\ -3 \\ +4,6 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure IV.38.

L'amplitude de déplacement est de 102 mm<sup>2</sup> (Fig IV.40).

### IV.2.3.C. Levator anguli oris (Canin) dans la position [o].

La figure IV.41. montre les modélisations du levator anguli oris du sujet SIMOVI LD01 en position neutre et en position [o]. Les « pattern » du muscle dans ces deux positions sont représentés dans la figure IV.43.



Fig IV.41. : Modélisation du muscle Levator Anguli Oris (Canin) Gauche en vue latérale position neutre à gauche et position [o] à droite.

Les modifications de longueur de la ligne d'action du muscle canin (Fig IV.42), les amplitudes de déplacement entre les 2 lignes d'action représentées par une surface (Fig IV.44) et le vecteur directeur de l'extrémité de la ligne d'action (Fig IV.44) sont colligés dans le tableau IV.10 .

Levator anguli oris (Canin)	Position neutre	Position O
Longueur d'action (mm)	27,4	25,2
Déformation ( $\Delta L/L$ ) de la longueur d'action (%)		-8%
Amplitude de déplacement (aire en mm <sup>2</sup> )		70
Vecteur directeur		(2,8;1;-4,2)

Tableau IV.10 : longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action dans la position [o].

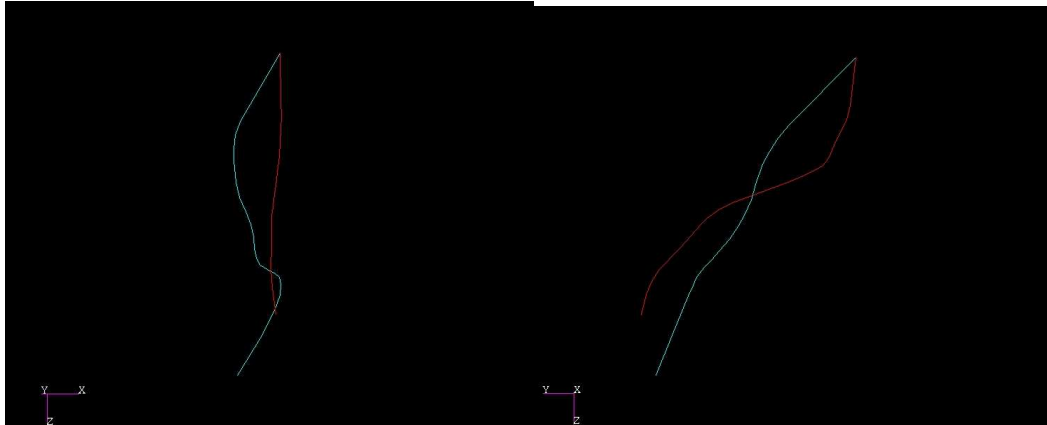


Fig IV.42: Modification des lignes d'action du muscle canin gauche dans les position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue) (vue antérieure à droite, vue latérale à gauche)

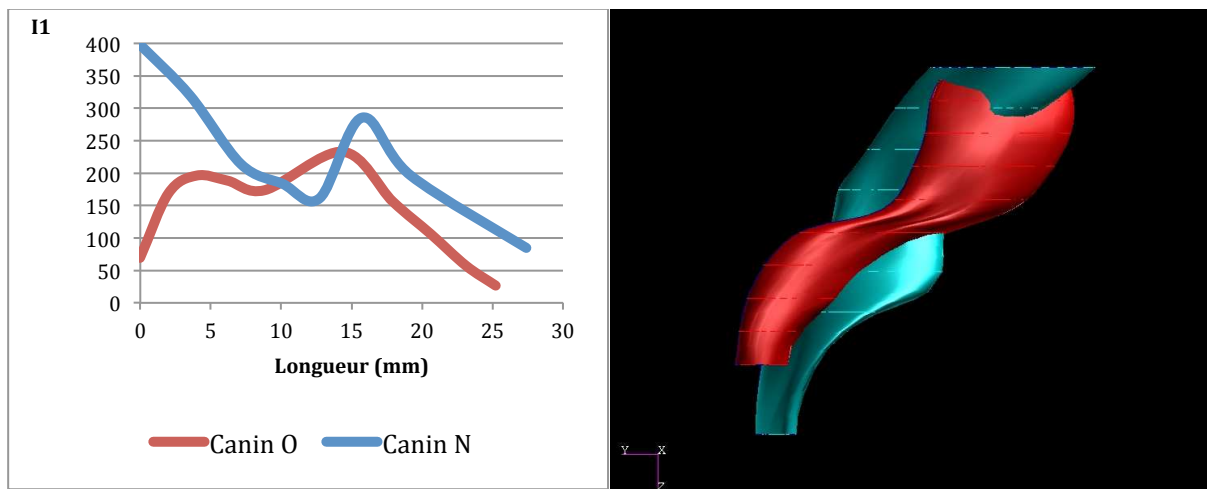


Fig IV.43. : Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle Levator Anguli Oris dans les positions neutre et [o] à droite

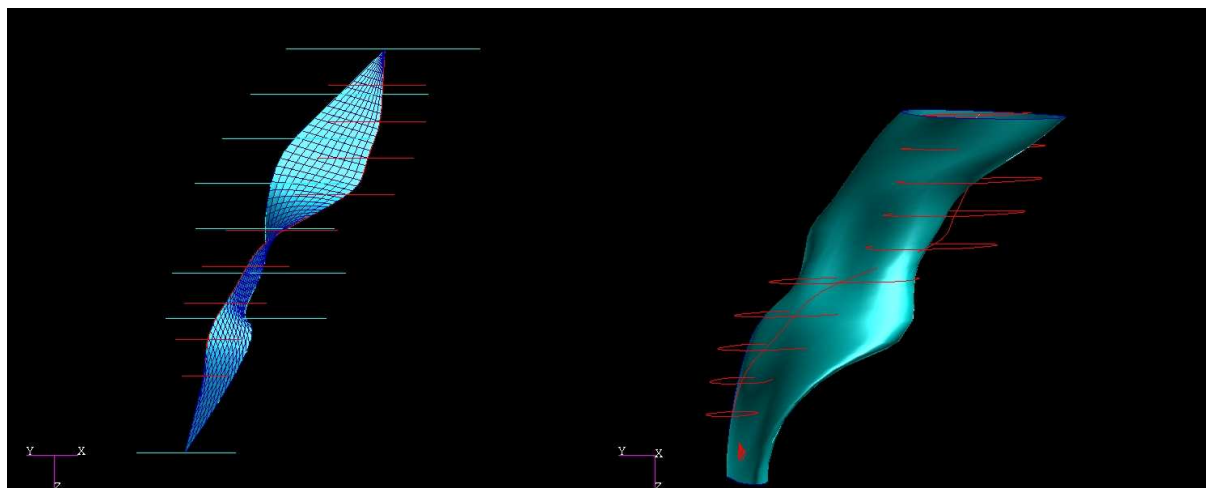


Fig IV.44. : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position O (rouge) (vue latérale d'un muscle canin gauche) et vecteur directeur de déplacement

Pour la position [o], le déplacement du muscle levator anguli oris se fait avec un faible raccourcissement de la ligne d'action et l'extrémité du muscle se déplace vers l'avant, le dehors et le

haut, selon un vecteur de norme 5 mm et de coordonnées  $v \begin{cases} +2,8 \\ +1 \\ -4,2 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure

IV. 44. L'amplitude de déplacement est de 70 mm<sup>2</sup>.

#### IV.2.3.D. Depressor anguli oris (Triangulaire) dans la position [o].

La figure IV.45. montre les modélisations du muscle depressor anguli oris du sujet SIMOVI LD01 en position neutre et en position [o]. Les « pattern » du muscle dans ces deux positions sont représentées à la figure IV.47.

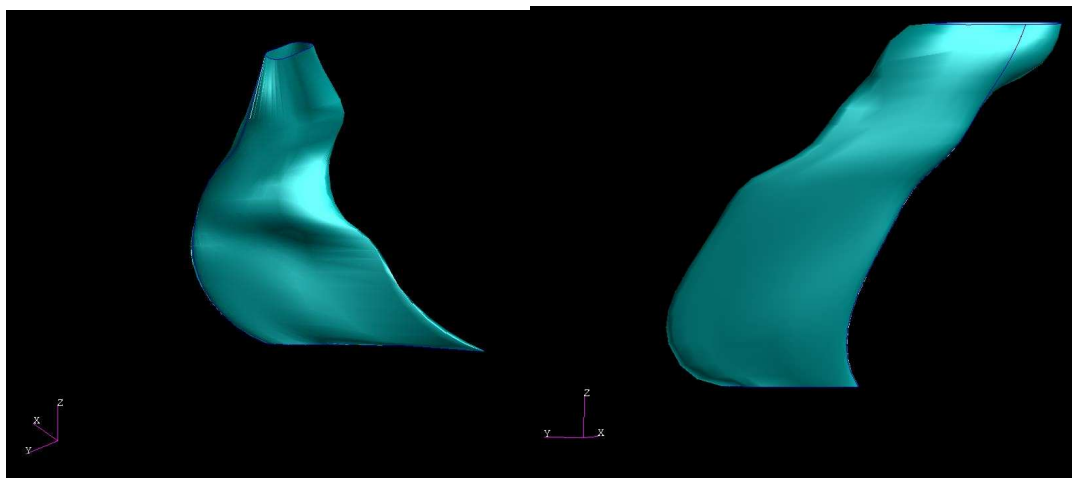


Fig IV.45. : Modélisation du muscle Depressor Anguli Oris  
(triangulaire Gauche en vue latérale position neutre à gauche et position [o] à droite.

Les modifications de longueur de la ligne d'action du muscle triangulaire (Fig IV.46), les amplitudes de déplacement entre les 2 lignes d'action représentées par une surface (Fig IV.48) et le vecteur directeur du déplacement de l'extrémité de la ligne d'action (Fig IV.48) ainsi que celui du déplacement du point d'insertion (Fig IV.48) sont colligés dans le tableau IV.11 .

Depressor anguli oris (Triangulaire)	Position neutre	Position O
Longueur d'action (mm)	44,76	41,44
Déformation (DL/L) de la longueur d'action (%)		-7,40%
Amplitude de déplacement (aire en mm2)		261
Vecteur directeur (insertion)		(-8,56;4,92;3,68)
Vecteur directeur (terminaison)		(+8,19;-12,6;-0,5)

Tableau IV.11 : longueur de la ligne d'action, déformations de la ligne d'action, amplitude de déplacement et vecteur directeur du déplacement de l'extrémité et de la terminaison de la ligne d'action dans la position [o].



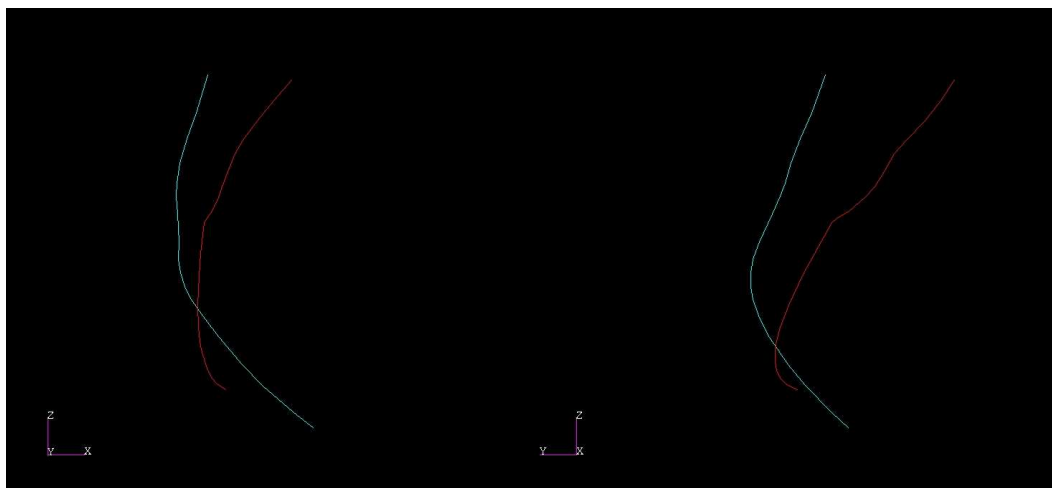


Figure IV.46. : Modification des lignes d'action du muscle triangulaire droit dans la position [o] (ligne rouge) par rapport à la position neutre (ligne bleue)  
(vue antérieure à droite, vue latérale à gauche)

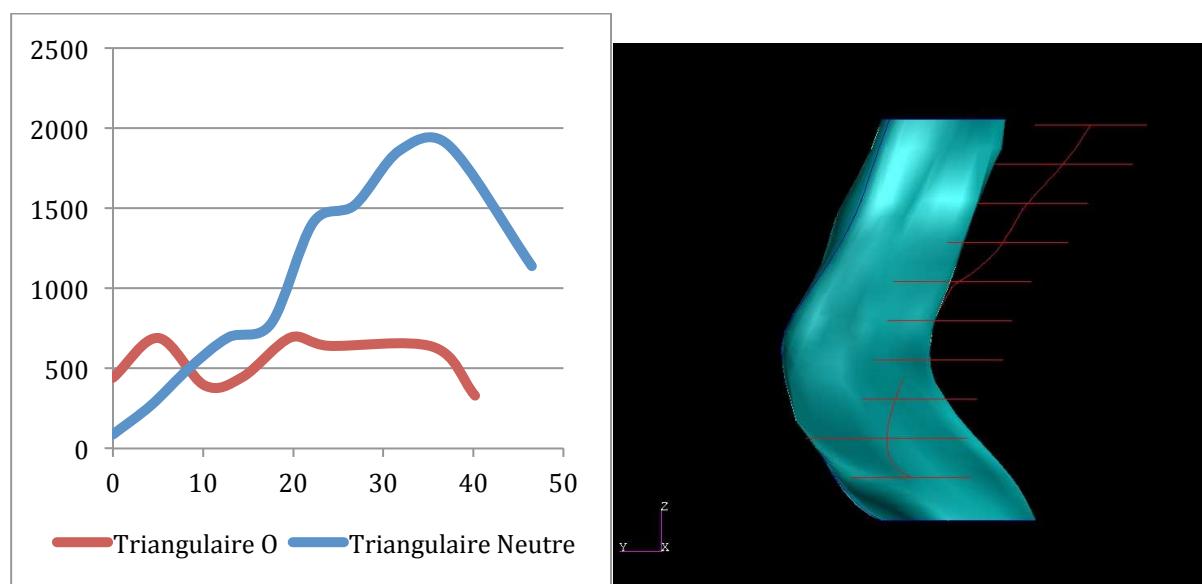


Figure IV.47. Comparaison des profils de courbes du moment d'inertie I1 en fonction de la longueur du muscle en position [o] par rapport à la position neutre à gauche. Comparaison de la modélisation du muscle Depressor Anguli Oris dans les positions neutre et [o] à droite

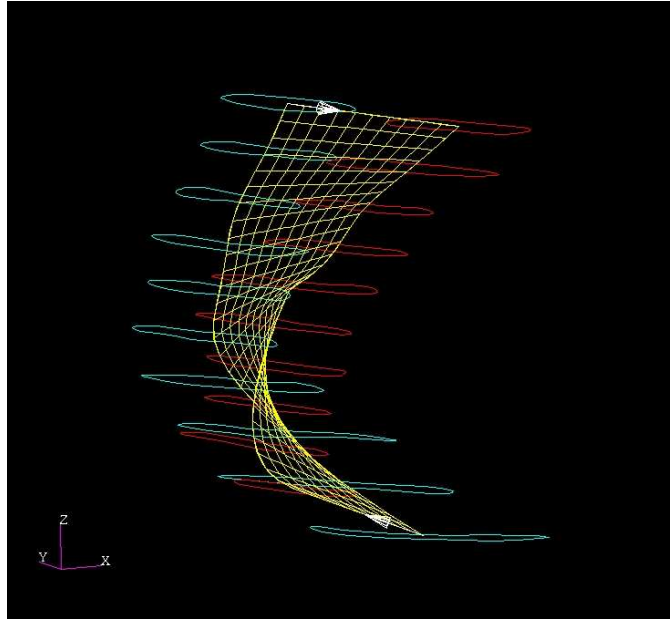


Figure IV.48 : Amplitude de déplacement (aire) entre la position neutre (bleue) et la position [o] (rouge) (vue face d'un muscle triangulaire gauche) et vecteur directeur de déplacement

Pour la position [o], le déplacement du muscle depressor anguli oris se fait avec un faible raccourcissement de la ligne d'action, l'insertion du muscle se déplace (réduite à un point : barycentre de l'insertion musculaire) se déplace en dehors, en arrière et vers le haut, selon un vecteur de norme 10 mm et de coordonnées  $\begin{cases} -8,5 \\ +4,9 \\ +3,7 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure IV.48 et la terminaison du muscle se déplace en dedans, en avant et vers le bas selon un vecteur de norme 15 mm et de coordonnées  $\begin{cases} +8,2 \\ -12,6 \\ -0,5 \end{cases}$ . L'amplitude de déplacement est de 261 mm<sup>2</sup>.

## IV.3.DISCUSSION

### IV.3.1 Méthodologie

Notre méthode s'appuie sur des fichiers reconstruits à partir de la segmentation d'un muscle. La précision de celle-ci a été évaluée en comparant les données morphométriques connues d'un fantôme à celles mesurées après segmentation d'une part, et, d'autre part la reproductibilité de la segmentation en position neutre d'un muscle zygomatique et celle dans différents mouvements. L'erreur relative en position neutre était de 4% et celle comparant le volume obtenu en position neutre et dans d'autres positions de mouvement étaient de 16,1% pour la position [o], de 1,9% pour la position [pμ], et de 18,9% pour la position du sourire. Les plus grandes erreurs constatées pour la position O et

la position sourire correspondent à des déformations et des déplacements plus grands pour le muscle dans ces positions (§ IV.2.2.A), ceci peut expliciter l'erreur de jugement de l'opérateur.

L'originalité de la méthode permettant de modéliser et visualiser dans l'espace tridimensionnelle les déplacements et de les quantifier (aire de l'amplitude des déplacements initial-final) est à souligner. Nous n'avons pas retrouvé d'équivalent d'approche biomécanique dans la littérature. L'application de cette méthode à différents muscles dans différentes positions, devrait permettre de mieux comprendre les synergies existantes (contractions-relachement) entre les muscles. Une amélioration des séquences IRM qui faciliterait la segmentation est envisagée, notamment avec l'utilisation des séquences DIXON sur une nouvelle machine IRM (Philipps 3T) dédiée recherche (Equipex FIGURES).

#### **IV.3.2. Morphométrie de 13 muscles peauciers (N=13) chez 1 sujet en position neutre et en position [o] .**

La segmentation de muscles peauciers a pu être réalisée dans différentes positions de mouvements. A notre connaissance ce travail est la première méthode décrite permettant de réaliser une reconstruction géométrique de muscles peauciers dans différentes positions de la mimique (Fig IV.). Même si la reconstruction géométrique à partir des données IRM donne une anatomie surprenante pour l'œil du clinicien, cette reconstruction permet l'accès à la répartition des muscles peauciers in vivo : i.e. à une anatomie tridimensionnelle individuelle in vivo et pourrait permettre de mieux adapter les traitements de réhabilitation. En effet, même si des représentations génériques schématiques existent dans la littérature : ouvrages d'anatomie, ou dans la base de données du projet visible human data set [U.S. National Library of Medicine 1994] créée à partir de reconstruction sur un sujet (Sifakis et al, 2005), elles sont souvent insuffisantes dans leur apport de données morphométriques.



Figure IV.49 : représentation schématique de la musculature peaucière, déduite de la banque de données visible human data (Sifakis et al, 2005).

Dans ce travail, les paramètres morphologiques, longueur, volume et épaisseur ont pu être calculés à partir de nos segmentations grâce à la méthode que nous avons appelée automatique. Les résultats de longueur sont cohérents par rapport aux résultats issus des dissections anatomiques, seuls résultats disponibles dans la littérature (§ I.1.6.A). Nos résultats sont certainement plus exacts car il s'agit d'une mesure *in vivo*, d'une longueur passant par les barycentres des différentes coupes musculaires, et non pas d'une longueur calculée entre les deux extrémités du muscle.

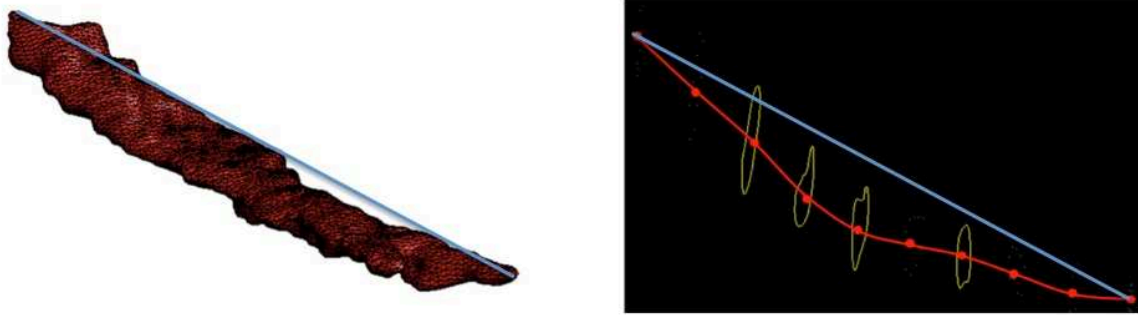


Figure IV.50 : différence de méthode de calcul de longueur de muscle

Les résultats de volumes peuvent être comparées à ceux de Volk et al. (Volk et al, 2014) et sont du même ordre de grandeur pour le levator labii superioris (moyenne  $774,2 \pm 264$  mm<sup>3</sup>, avec un intervalle de confiance [584,8-963,6], le depressor anguli oris (moyenne  $1303,7 \pm 751,1$  mm<sup>3</sup>, avec un intervalle de confiance de [766,4-1841]) (Tableau I.22) . Pour les autres muscles, le volume peut être différent à cause de l'utilisation d'une autre méthode (logiciel de segmentation semi-automatique) (Fig I.64).

L'augmentation du nombre de cas devrait permettre d'obtenir des données morphométriques de référence prenant en considération la variabilité humaine.

### IV.3.3. Paramétrisation morphologique du muscle zygomaticus major en position neutre.

Concernant l'étude menée sur les muscles zygomatiques en position neutre, certaines reconstructions géométriques tridimensionnelles de muscle grand zygomatique suggèrent la présence d'une « bifidité » terminale (Fig.IV.51). ce qui est parfaitement cohérent avec la littérature (Pessa et al, 1998). Cette bifidité n'a pas été corrélée avec la présence d'une fossette jugale comme certains auteurs l'affirment dans la littérature (§ I.1.3.A).

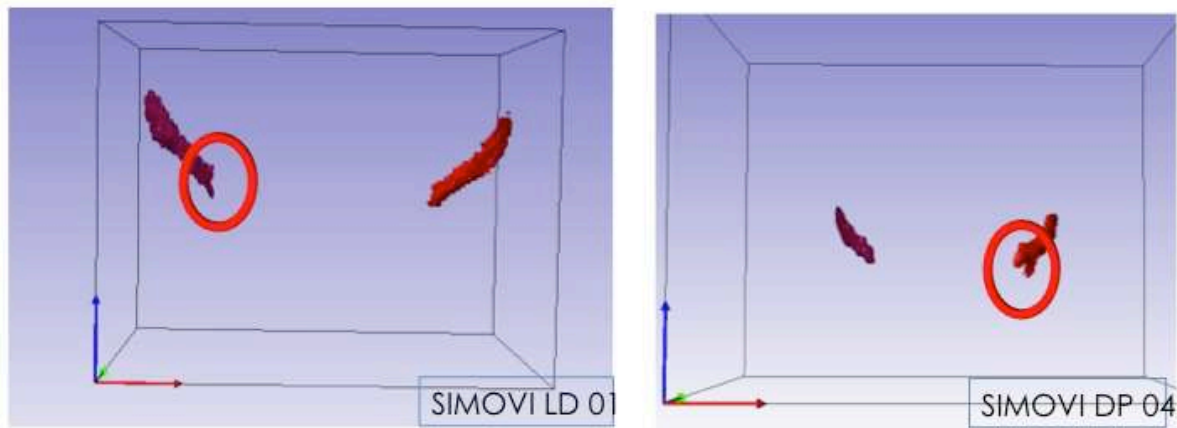


Figure IV.51 : aspect de bifidité de muscle zygomaticus major en reconstruction géométrique

Cette étude permet d'obtenir des résultats de paramètres moyens de volume  $941 \pm 188 \text{ mm}^3$ , de longueur  $53,3 \pm 2,5 \text{ mm}$  et  $1,95 \pm 0,19 \text{ mm}$  sur une population jeune ( $n=10$  zygomatics). Ces données sont du même ordre de grandeur que les données obtenues par Volk et al. ( $V=973 \text{ mm}^3$ ). A notre connaissance, ces résultats sont originaux et aucune autre étude ne fournit de valeurs de paramètres moyens. Comme discuté dans le paragraphe précédent, l'augmentation de la cohorte devrait permettre d'obtenir des données qui pourront être considérées comme référence.

L'obtention de « pattern » (morphotype) de muscle, en dessinant les courbes de  $I_1$  en fonction de la longueur permet une paramétrisation du muscle. Sur notre faible échantillon, 2 patterns de morphotypes musculaires ont déjà été obtenus, celui dit en « cloche », et un autre avec un « pic ascendant » dans la deuxième portion de longueur du muscle zygomatic (40% de la longueur). Ceci corrobore la variabilité interindividuelle des muscles peauciers et intra-individuelle puisque pour certains sujets, nous retrouvons un pattern en cloche d'un côté et un pattern avec un pic ascendant pour l'autre côté (SIMOVI DP 04, SIMOVI JB 09).

Grâce à des patterns de ce type, une automatisation des reconstructions à partir de quelques mesures pourrait être réalisée. En effet à partir de quelques données de mesures, le morphotype musculaire pourrait être déduit par un algorithme de calcul. Cependant, une augmentation du nombre de données est nécessaire pour obtenir des modèles statistiques.

A la face, la segmentation automatique des muscles a été décrite pour des muscles plus volumineux tels que les masséter et temporal et comparée à la segmentation manuelle par Rezaeitabar et al. (Rezaeitabar et al., 2012). La concordance des résultats était de 82,6 % pour le muscle masséter et 78% pour le muscle temporal. Olewski et al. ont utilisé une segmentation automatique non dédiée aux muscles peauciers et en ont décrit les limites, avec les difficultés d'individualisation de certains

muscles et un rendu « en paquet » Le développement d'une segmentation automatique des muscles peauciers serait donc utile.

#### **IV.3.4 Déplacements et Déformations des muscles peauciers dans différentes positions.**

##### **IV.3.4.A. Zygomaticus major dans les positions [o] , [ pμ ] , et sourire**

Les déformations et les déplacements du muscle grand zygomatique restent qualitativement en adéquation avec ce qui peut être attendu cliniquement (raccourcissement de la ligne d'action sur le sourire et allongement sur le son O. Cependant nos résultats montrent que le comportement mécanique du muscle grand zygomatique chez le sujet considéré est différent sur le son [o] et sur le son [pμ]. En effet, il existe une plus grande déformation et une moindre amplitude de déplacement sur le son [o] que sur le son [pμ].

Le pattern de déformation obtenu sur le son [pμ] peut être discuté. Ainsi il pourrait s'agir d'une erreur de jugement de l'opérateur lors de la segmentation, bien que nos résultats de reproductibilité tendent à montrer que la segmentation sur le son [pμ] est plus fiable que sur d'autres positions musculaires (§ IV.1.4.C).

Ce pattern pourrait également correspondre à différentes « zones de contractions et de déformations musculaires ». Ces données seraient à corroborer avec la notion de points moteurs (zone d'entrée du nerf dans le muscle, d'où part la contraction musculaire). Ainsi si le grand zygomatique est innervé par plusieurs branches de terminaison du rameau zygomatique du nerf facial, alors pourraient exister plusieurs « points moteurs » d'où partent les contractions ou étirement et donc de déformations avec un pattern en accordéon comme obtenu à la figure IV.24.

##### **IV. 3.4.B. Autres muscles**

Les déformations et les déplacements ont été étudiés pour 3 autres muscles de la position neutre à la position sur le son [o]. Outre le fait, qu'il s'agit de résultats tout à fait originaux qui n'ont pas d'équivalent dans la littérature, ceux-ci pourront être utilisés dans les modélisations numériques de la mimique de la face et aider à une meilleure compréhension de la synergie existante entre les muscles peauciers et aux développements d'outils d'aide à l'évaluation et la réhabilitation faciales après atteinte de la mimique.

Ces résultats sont importants comme données d'entrée pour la simulation par la MEF des mouvements de la mimique faciale. En effet les valeurs des élongations, ainsi que les contraintes de déplacements ont pu être utilisées pour simuler le mouvement du visage à partir de l'activation d'un muscle (Fan *et al.* 2015). Les données sur les quatre muscles simultanément vont permettre de prendre en compte l'interaction des muscles les uns par rapport aux autres lors d'un mouvement donné.

# CONCLUSION

---



Ce travail constitue une étape préliminaire à d'autres travaux. En effet, en caractérisant la mimique faciale avec un codage dérivé des anciens travaux d'Ekman (Ekman,1976) pour 21 sujets jeunes, nous avons constitué une cohorte d'étude. Ce codage ne reprenant pas directement le langage anatomique des cliniciens est facilement accessible à un groupe de chercheurs pluridisciplinaires qui pourront mettre leur compétence en synergie pour développer de nouveaux outils de suivi et de mesures directement applicable en clinique (§ III.4). L'approche interne via l'IRM nécessite encore quelques améliorations (séquence IRM et automatisation), mais à l'avenir les données de déformations internes et les caractéristiques du mouvement externe pourront être corrélées. La quantification des mouvements des muscles peauciers via l'IRM se poursuit avec le transfert et l'optimisation des protocoles d'acquisition dédiés (IRM recherche GIE Equipex Figures-IFF-CHU), ainsi que les perspectives de développement d'IRM dynamique des muscles peauciers.

Nos travaux pourront être utilisés pour valider un modèle personnalisé de la mimique sur les différentes positions étudiées, et ainsi valider les lois de comportement biomécanique implémentées dans le modèle. Si nous prenons pour exemple la protrusion labiale sur le son O pour le sujet SIMOVI LD 01, aux termes de nos résultats qui pourront être confortés par l'augmentation du nombre de cas, les déformations surfaciques cutanées devront correspondre à la combinaison chronologique AU 25, AU 26, AU 18, AU 39, AU 23, plus ou moins AU 45, dans un temps moyen de  $2,43 \pm 0,9$  s. Les déformations internes, quant à elles, concernant les muscles triangulaire (depressor anguli oris), canin (levator anguli oris), releveur (levator labii superioris) et zygomatique (zygomaticus major) devront correspondre aux caractéristiques suivantes :

- pour le muscle triangulaire (depressor anguli oris) un faible raccourcissement de la ligne d'action, et un déplacement de l'insertion en dehors, en arrière et vers le haut, selon un vecteur de norme 10 mm et de coordonnées  $\begin{pmatrix} -8,5 \\ +4,9 \\ +3,7 \end{pmatrix}$  dans le repère considéré à la figure IV.48 et un déplacement de la terminaison du muscle en dedans, en avant et vers le bas selon un vecteur de norme 15 mm et de coordonnées  $\begin{pmatrix} +8,2 \\ -12,6 \\ -0,5 \end{pmatrix}$ , l'amplitude de déplacement entre les 2 lignes d'action est de 261 mm<sup>2</sup>

- pour le muscle canin (levator anguli oris) un faible raccourcissement de la ligne d'action et le déplacement de la terminaison du muscle en avant, en dehors et en haut, selon un vecteur de norme 5 mm et de coordonnées  $\begin{pmatrix} +2,8 \\ +1 \\ -4,2 \end{pmatrix}$  dans le repère considéré à la figure IV.44, l'amplitude de déplacement entre les 2 lignes d'action est de 70 mm<sup>2</sup>.

- pour le muscle levator labii superioris (releveur) un raccourcissement de la ligne d'action et le déplacement de la terminaison du muscle vers le dedans, l'avant et le haut selon un vecteur de norme

8,5 mm et de coordonnées  $v \begin{cases} +6,4 \\ -3 \\ +4,6 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure IV.38, l'amplitude de déplacement est de 102 mm<sup>2</sup>.

- pour le muscle zygomaticus major un allongement de la ligne d'action, et le déplacement de la terminaison du muscle zygomaticus major en dedans, vers le bas et l'avant, selon un vecteur de norme 10 mm, et de coordonnées  $v \begin{cases} +6,6 \\ -5,9 \\ -4,6 \end{cases}$  dans le repère considéré à la figure IV.33, l'aire de l'amplitude de déplacement entre les 2 lignes d'action est de 84 mm<sup>2</sup>.

Ces modèles ainsi construits et validés pourraient également avoir un intérêt dans la prédiction de certains traitements influençant directement la mimique (injection de toxine dans les séquelles de paralysie faciale par exemple).

Parrallèlement à ces travaux, dans le cadre du Projet SIMOVI dont la problématique principale est « comment caractériser objectivement la mimique faciale », et qui est identifié dans l'EQUIPEX FIGURES, d'autres recherches sont menées. Outre la poursuite des modélisations des mouvements par la méthode des éléments finis des mouvements de la mimique faciale, en utilisant les données de cette thèse, la mise en place de protocole de caractérisation mécanique biaxiale dédié aux tissus biologiques et permettant d'obtenir des lois de comportement biofidèle avec la machine d'essais Electroforce Planar bi-axial Bose a été initiée.

Concernant la caractérisation externe, d'autres travaux sur les paramètres d'évaluation de la mimique faciale sont réalisés à l'aide d'un scanner de surface ou de la plateforme d'analyse du mouvement Synemus.

Les premiers résultats de la caractérisation externe de la mimique faciale obtenus sur les cohortes de sujets sains (capture du mouvement, scanner de surface, codage dédié), vont permettre de créer et tester des protocoles d'analyse clinique pour les patients, ceci est envisagé dans un avenir proche à travers l'une des tâches du FHU surface.



NOTE

---

Dans ce travail, nous utilisons indifféremment les nomenclatures concernant la dénomination des muscles peauciers, ce qui peut gêner la lecture. Ce tableau (d'après Sobotta) collige les différentes dénominations d'un même muscle.

Nomenclature latine	Nomenclature moderne	Nomenclature ancienne
Frontalis	Frontal	Frontal
Orbicularis Oculi	Orbiculaire des paupières	Orbiculaire des paupières
Corrugator supercilii	Corrugateur du sourcil	Sourcilier
Depressor supercilii	Abaisseur du sourcil	Abaisseur du sourcil
Procerus	Procerus	Pyramidal
Compressor naris	Muscle nasal partie transverse	Transverse
Dilatator naris	Muscle nasal partie alaire	Dilatateur de l'aile du nez
Depressor septi	Abaisseur du septum nasal	Myrtiforme
Orbicularis labii	Orbiculaire des lèvres	Orbiculaire des lèvres
Levator anguli oris	Releveur de l'angle de la bouche	Canin
Depressor labii inferioris	Abaisseur de la lèvre inférieure	Carré du menton
Musculus mentalis	Mentonnier	Houppe du menton
Zygomaticus major	Grand zygomatique	Grand zygomatique
Zygomaticus minor	Petit zygomatique	Petit zygomatique
Levator labii superioris alaeque nasi	Releveur de la lèvre supérieure et de l'aile du nez	Releveur profond et superficiel de l'aile du nez et de la lèvre
Levator labii superioris	Releveur de la lèvre supérieure	Releveur de la lèvre supérieure
Depressor anguli oris	Abaisseur de l'angle de la bouche	Triangulaire
Risorius	Risorius	Risorius

# ANNEXES





# ANNEXE 1





1 NUMERO DE DOSSIER RBM	2 CENTR E	3 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	CR	05

**Date d'inclusion : 05/06/2012**

#### 3.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 11/06/1984  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (m/f) :** F  
**Poids : 059 Kg** **Taille : 173 cm**  
**BMI : ND**

#### 3.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 3.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☒ Transfrontale  
☐ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :**

	<b>repos</b>	<b>mouvement</b>
- Frontales	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Rides du lion	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Fossette mentonnière	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	

- Fossette jugale

☐ Oui ☒ Non

☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☐ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☐ Mona lisa  
☒ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☒ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Découvrement gingival

#### 3.1.1.1.1.1.4 4) FACS

Date : 15/04/2014													Nbre total d'AU
Mouvements / codage													
Mvt 1	7	43											2
Mvt 2	43	6	4	9	38								5
Mvt 3	26	7	45	39	18	23	14						7
Mvt 4	26	18	39	16	45	14							6
Mvt 5	45	25	12	6	13	11	38	45					8
Mvt 6	20	6	45	25	12	11	13	38	45	14	15	23	12

#### 3.1.1.1.1.1.5

Date d'inclusion : 05/02/2014

### 3.1.1.1.1.1.6 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance : 23/11/1983  
Lieu de naissance : Longjumeau (91)  
Sexe (M/F) : F  
Poids : 52 Kg Taille : 165 cm  
BMI : 19,1

### 3.1.1.1.1.1.7 2) ANTECEDENTS FACE

RAS

### 3.1.1.1.1.1.8 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Trans  
☒ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :**

	repos	mouvement
- Frontales	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Rides du lion	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Fossette mentonnière	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Fossette jugale	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☒ Présent ☐ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

## 3.1.1.1.1.1.9 4) FACS

Date :										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	43	7								2
Mvt 2	7	43	6	4						4
Mvt 3	25	26	18	23	16	18	14			7
Mvt 4	19	23	16	25	26					5
Mvt 5	12	45	25	38	7	25	14			7
Mvt 6										NF

4 NUMERO DE DOSSIER RBM	5 CENTR E	6 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	CN	08

Date d'inclusion : 05/02/2014

#### 6.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance : 23/11/1983  
Lieu de naissance : Longjumeau (91)  
Sexe (M/F) : F  
Poids : 52 Kg Taille : 165 cm  
BMI : 19,1

#### 6.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

RAS

#### 6.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

##### Forme de visage :

- ☐ Cis  
☐ Trans  
☒ Normo frontale

Vue frontale : équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

##### Type d'orbite

- ☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

##### Coté dominant :

- ☒ Gauche  
☐ Droit

##### Rides :

- Frontales

##### repos

☐ Oui ☒ Non

##### mouvement

- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☒ Présent ☐ Pau marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire (classification de Rubin) :**

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6.1.1.1.1.1.4 4) FACS

Date :										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	43	7								2
Mvt 2	7	43	6	4						4
Mvt 3	25	26	18	23	16	18	14			7
Mvt 4	19	23	16	25	26					5
Mvt 5	12	45	25	38	7	25	14			7
Mvt 6										NF

7 NUMERO DE DOSSIER RBM	8 CENTR E	9 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	FRS	07

**Date d'inclusion : 05/02/2014**

#### 9.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 19/01/1987  
**Lieu de naissance :** Vitry-le-François \_  
**Sexe (M/F) :** M  
**Poids : 64 Kg** **Taille : 173 cm**  
**BMI : 21,4**

#### 9.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

- plaie canthale externe
- cicatrice sous mentonnière

#### 9.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Trans  
☒ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☒ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** repos mouvement

- Frontales ☐ Oui ☒ Non
- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non
- Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non
- Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent
- Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit
- Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa
- ☐ Canin
- ☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive
- ☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible
- ☒ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Asymétrie sillon nasogénien

9.1.1.1.1.1.4 4) FACS

Date :										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	43	7								2
Mvt 2	7	6	43	4						4
Mvt 3	25	26	39	18						4
Mvt 4	25	26	23	18	16	39				6
Mvt 5	25	38	12	25	26					5
Mvt 6	7	12	38	23	45	45	7			7



10 NUMERO DE DOSSIER RBM	11 CENTR E	12 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	JB	06

**Date d'inclusion : 05/02/2014**

#### 12.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 06/11/1986  
**Lieu de naissance :** Thionville (57)  
**Sexe (M/F) :** M  
**Poids : 070 Kg** **Taille : 168 cm**  
**BMI : 25**

#### 12.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

RAS

#### 12.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**

- ☒ Cis  
☐ Trans  
☐ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**

- ☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**

- ☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :**

- Frontales  
 - Rides du lion  
 - Fossette mentonnière

**repos**

- ☐ Oui ☒ Non  
☐ Oui ☒ Non  
☐ Oui ☒ Non

**mouvement**

- Fossette jugale

☐ Oui ☒ Non

☐ Oui ☐ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent

- Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit

- Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire (classification de Rubin) :**

☒ Mona lisa

☐ Canin

☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive

☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible

☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Bifidité du sillon à la partie basse du sillon nasogénien gauche

12.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 26/05/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	43	6	7	4	9					5
Mvt 3	45	18	16							3
Mvt 4	23	18	16	20						4
Mvt 5	25	12	7	45	38	13				6
Mvt 6										NF

13 NUMERO DE DOSSIER RBM	14 CENTR E	15 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	AA	12

**Date d'inclusion : 07/05/2014**

#### 15.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 30/03/1986  
**Lieu de naissance :** Boulogne Billancourt  
**Sexe (M/F) :** F  
**Poids : 70 Kg** **Taille : 161 cm**  
**BMI :** 26,2

#### 15.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 15.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Trans  
☒ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☒ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** **repos** **mouvement**

- Frontales ☐ Oui ☒ Non  
 - Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non :  
**Si, oui** ☒ Droite ☒ Gauche

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
 - Terminaison : ☒ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire (classification de Rubin) :**

- ☐ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

15.1.1.1.1.1.4

4) Facs

Date : 27/05/2014									Nbre total d'AU
Mouvements / codage									
Mvt 1	45	7	43						3
Mvt 2	1	2	5	4	6	43			6
Mvt 3	7	45	25	26	23	18	39	14	8
Mvt 4	7	23	18	25	14				5
Mvt 5	45	12	6	13	20				5
Mvt 6	6	13	20	25	26	1	2		7

16 NUMERO DE DOSSIER RBM	17 CENTR E	18 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	AC	09

**Date d'inclusion : 05/02/2014**

#### 18.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 24/08/1985  
**Lieu de naissance :** Paris  
**Sexe (m/f) :** M  
**Poids : 080 Kg** **Taille : 180 cm**  
**BMI : 24,7**

#### 18.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

RAS

#### 18.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**

- ☒ Cis  
☐ Trans  
☐ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**

- ☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**

- ☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** **repos** **mouvement**

- Frontales ☐ Oui ☒ Non
- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non
- Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non
- Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- ☒ Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent
- ☒ Au sourire : ☐ Concave ☒ Convexe ☒ Droit
- ☒ Terminaison : ☒ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa
- ☐ Canin
- ☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive
- ☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdendaire (papille gingivale) est visible
- ☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Légère asymétrie du sillon nasogénien au sourire : droit à droite, légèrement convexe à gauche

18.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 27/05/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	43	7	7	7						4
Mvt 2	7	6	7	4	43					5
Mvt 3	45	25	26	18	39					5
Mvt 4	7	45	23	22	39	10	25	26	16	9
Mvt 5	12	6	20							3
Mvt 6	6	12	13	45	20					5

19 NUMERO DE DOSSIER RBM	20 CENTR E	21 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	CG	10

**Date d'inclusion : 07/05/2014**

#### 21.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 09/07/1985  
**Lieu de naissance :** Rouen  
**Sexe (m/f) :** M  
**Poids : 75 Kg** **Taille : 183 cm**  
**BMI : 22,4**

#### 21.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 21.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** - Frontales **repos** ☐ Oui ☒ Non **mouvement**

- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☐ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit  
 - Terminaison : ☒ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☐ Mona lisa  
☒ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☒ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

21.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 04/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	7	6	43	4	9	13	38	10		8
Mvt 3	25	26	39	45	18					5
Mvt 4	23	18	25	39	4	7	14			7
Mvt 5	10	12	13	25	38	43				6
Mvt 6	12	13	25	38	6	45	45			7



22 NUMERO DE DOSSIER RBM	23 CENTRE	24 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	LD	01

**Date d'inclusion : 06/08/2011**

#### 24.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 18/01/1987  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (m/f) :** F  
**Poids : 057 Kg** **Taille : 150 cm**  
**BMI : 25,3**

#### 24.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

Plaie de l'arcade en maternelle

#### 24.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☒ Trans  
☐ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche (légère asymétrie)  
☐ Droit

**Rides :**

	repos	mouvement
- Frontales	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Rides du lion	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Fossette mentonnière	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	

- Fossette jugale

☐ Oui ☒ Non

☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
- Au sourire ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
- Terminaison : ☒ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☐ Mona lisa  
☒ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☒ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires** : pas de sourire jugal, pas de sillon nasogénien, sillon labio mentonnier, Participation des releveurs, partie médiane de la lèvre légèrement au dessus des commissures.

Excédent cutané au dessus de sillon palpébral sup.

24.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 04/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	4	43	7	6	38					5
Mvt 3	45	25	26	18	39					5
Mvt 4	25	45	23	18	25	26	16	38		8
Mvt 5	6	25	12	11	13					5
Mvt 6										NF

25 NUMERO DE DOSSIER RBM	26 CENTRE	27 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	RL	11

**Date d'inclusion : 07/05/2014**

#### 27.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 03/05/1986  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (M/F) :** M  
**Poids : 66 Kg** **Taille : 178 cm**  
**BMI : 20,8**

#### 27.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 27.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☒ Transfrontale  
☐ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☐ Oui ☒ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :**

- Frontales	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Rides du lion	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Fossette mentonnière	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Fossette jugale	<input type="checkbox"/> Oui	<input checked="" type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos :	<input type="checkbox"/> Présent	<input checked="" type="checkbox"/> Peu marqué ou absent
- Au sourire :	<input type="checkbox"/> Concave	<input type="checkbox"/> Convexe <input type="checkbox"/> Droit
- Terminaison :	<input type="checkbox"/> Au dessus	<input type="checkbox"/> Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

☐ Mona lisa  
☐ Canin  
☒ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive

☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale

☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Forme particulière du SNG au sourire +

27.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 10/06/2014									Nbre total d'AU
Mouvements / codage									
Mvt 1	7	43							2
Mvt 2	38	7	4	6	7	43			6
Mvt 3									0
Mvt 4	45	25	26	18	39	45	38		7
Mvt 5	4	45	12	25	6	7			6
Mvt 6	4	45	12	25	6	7	13	45	8

28 NUMERO DE DOSSIER RBM	29 CENTR E	30 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	1FA	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ] [ ][ ] [ ][ ][ ][ ]  
JJ MM AAAA

### 30.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance (âge) : 29  
Lieu de naissance : -----  
Sexe (M/F) : M  
Poids : [ ][ ][ ][ ] Kg Taille : [ ][ ][ ][ ] cm  
BMI : <25

### 30.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

### 30.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

Forme de visage :  
☐ Cis  
☐ Trans  
☒ Normo frontale

Vue frontale : équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

Type d'orbite  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

Coté dominant :  
☐ Gauche  
☒ Droit

Rides :  
- Frontales ☐ Oui ☒ Non  
- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non

repos mouvement

- Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

Au repos : ☐ Présent ☐ Pau marqué ou absent  
 Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit  
 Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

☐ Mona lisa  
☐ Canin  
☒ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☒ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

30.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 10/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	6	7	43	4	9					5
Mvt 3	25	26	45	18	16	23	39			7
Mvt 4	23	18	16	25	26	1				6
Mvt 5	12	6	45	13	11					5
Mvt 6	12	6	25	13	11	10	26	6		8

31 NUMERO DE DOSSIER RBM	32 CENTR E	33 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	2FB	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ][ ][ ]
JJ	MM	AAAA

### 33.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 27 ans  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (M/F) :** F  
**Poids :** [ ][ ][ ][ ] Kg **Taille :** [ ][ ][ ][ ] cm  
**BMI :** <25

### 33.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

### 33.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** - Frontales **repos** ☐ Oui ☒ Non **mouvement**

- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☒ Convexe ☐ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

33.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date :										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	6	43	4	9						4
Mvt 3	7	26	25	39	23	14				6
Mvt 4	23	39	26	25	18	16	14			7
Mvt 5	45	25	12	13						4
Mvt 6										





- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
 - Terminaison : ☒ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

36.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 16/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	43									1
Mvt 2	4	9	43	6						4
Mvt 3	23	25	26	18	39	23	16	23		8
Mvt 4	23	25	26	18	39	16	45	23		8
Mvt 5	14	13	25	12	38	14	45			7
Mvt 6	13	39	7	45						4

37 NUMERO DE DOSSIER RBM	38 CENTR E	39 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	4FD	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ] [ ][ ] [ ][ ][ ][ ]  
JJ MM AAAA

### 39.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance : 25 ans  
 Lieu de naissance : -----  
 Sexe (M/F) : M  
 Poids : [ ][ ][ ][ ] Kg Taille : [ ][ ][ ][ ] cm  
 BMI : <25

### 39.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

### 39.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

Forme de visage :  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

Vue frontale : équilibre des trois tiers ☐ Oui ☐ Non

Type d'orbite  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

Coté dominant :  
☒ Gauche  
☐ Droit

Rides :  
 - Frontales ☐ repos ☐ mouvement  
☐ Oui ☒ Non

- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☒ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

39.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 16/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	6	43	4							3
Mvt 3	25	26	18	39	16	45				6
Mvt 4	25	26	23	18	25	16	39	25		8
Mvt 5	12	45	25	26	7					5
Mvt 6	25	26	13	12	6	45				6

40 NUMERO DE DOSSIER RBM	41 CENTR E	42 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	5FE	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ][ ][ ]
JJ	MM	AAAA

#### 42.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 29 ans  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (M/F) :** M  
**Poids :** [ ][ ][ ][ ] Kg **Taille :** [ ][ ][ ][ ] cm  
**BMI :** <25

#### 42.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

Cicatrice jugale droite.

#### 42.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** - Frontales **repos** ☐ Oui ☒ Non **mouvement**

- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☒ Présent ☐ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☒ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

42.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 16/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	43	7	7							3
Mvt 2	6	43	4							3
Mvt 3	25	16	18	39	14					5
Mvt 4	23	25	18	16	14					5
Mvt 5	12	25	13	7	45					5
Mvt 6	25	26	12	16	13	6				6

43 NUMERO DE DOSSIER RBM	44 CENTR E	45 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	6FF	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ] [ ][ ] [ ][ ][ ][ ]  
JJ MM AAAA

#### 45.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance : 30 ans  
Lieu de naissance : -----  
Sexe (M/F) : F  
Poids : [ ][ ][ ][ ] Kg Taille : [ ][ ][ ][ ] cm  
BMI : <25

#### 45.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 45.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

Forme de visage :  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

Vue frontale : équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

Type d'orbite  
☒ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☐ III : Allongé

Coté dominant :  
☒ Gauche  
☐ Droit

Rides :  
- Frontales repos ☐ Oui ☒ Non mouvement

- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☒ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

45.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date :										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43	7	7						4
Mvt 2	7	43	6	4	9					5
Mvt 3	25	26	45	39	18	16	45			7
Mvt 4	25	26	18	23	39	25	45			7
Mvt 5	12	7	25	45	45					5
Mvt 6	45	43	7	25	12	13				6



46 NUMERO DE DOSSIER RBM	47 CENTR E	48 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	7FI	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ]	[ ][ ]	[ ][ ][ ][ ]
JJ	MM	AAAA

#### 48.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 29 ans  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (M/F) :** F  
**Poids :** [ ][ ][ ][ ] Kg **Taille :** [ ][ ][ ][ ] cm  
**BMI :** <25

#### 48.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 48.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :**

	<b>repos</b>	<b>mouvement</b>
- Frontales	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
- Rides du lion	<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	

- Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non
- Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent
- Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit
- Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa
- ☐ Canin
- ☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive
- ☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible
- ☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

48.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 22/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43	7	7						4
Mvt 2	7	43	6	4						4
Mvt 3	25	26	18	23	14	39				6
Mvt 4	45	25	26	23	18	39	16	14		8
Mvt 5	25	12	13	6						4
Mvt 6	25	26	4	9	12	13	6			7

49 NUMERO DE DOSSIER RBM	50 CENTR E	51 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	8FJ	[ ][ ][ ][ ]

Date d'inclusion :

[ ][ ] [ ][ ] [ ][ ][ ][ ]  
JJ MM AAAA

#### 51.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance : 28 ans  
Lieu de naissance : -----  
Sexe (M/F) : F  
Poids : [ ][ ][ ][ ] Kg Taille : [ ][ ][ ][ ] cm  
BMI : <25

#### 51.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 51.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

Forme de visage :  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

Vue frontale : équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

Type d'orbite  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

Coté dominant :  
☐ Gauche  
☒ Droit

Rides : - Frontales repos ☐ Oui ☐ Non mouvement

- Rides du lion ☐ Oui ☐ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☐ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☐ Non ☐ Oui ☐ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☒ Présent ☐ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☒ Convexe ☒ Droit  
 -Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☒ Mona lisa  
☐ Canin  
☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☒ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Sillon nasogénien asymétrique : droit à droite, convexe à gauche.

51.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 22/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	7	7	43	6	4	9				6
Mvt 3	14	25	26	39	18	16	45	14		8
Mvt 4	23	18	25	26	39	16	14			7
Mvt 5	45	25	12	45	23	14				6
Mvt 6										

52 NUMERO DE DOSSIER RBM	53 CENTR E	54 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	LN	15

**Date d'inclusion : 26/05/2014**

#### 54.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 27/01/1988  
**Lieu de naissance :** Paris  
**Sexe (m/f) :** F  
**Poids : 062 Kg** **Taille : 176 cm**  
**BMI :** 20

#### 54.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

OPN. Traitement chirurgical.

#### 54.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Trans  
☒ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☐ Gauche  
☒ Droit

**Rides :** **repos** **mouvement**

- Frontales ☐ Oui ☒ Non  
 - Rides du lion ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non  
 - Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☒ Présent ☐ Peu marqué ou absent  
 - Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
 - Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire (classification de Rubin) :**

- ☐ Mona lisa  
☐ Canin  
☒ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☒ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Découvrement gingival

54.1.1.1.1.1.4

4) FACS

Date : 22/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43	7							3
Mvt 2	6	7	43	45	4	9				6
Mvt 3	25	26	18	39	23	45				6
Mvt 4	25	26	18	23	39	16	45	14		8
Mvt 5	13	12	10	7	25					5
Mvt 6	13	10	12	25	26	6	45	23		8

55 NUMERO DE DOSSIER RBM	56 CENTRE	57 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	NL	14

**Date d'inclusion : 26/05/2014**

#### 57.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 27/02/1987  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (M/F) :** M  
**Poids : 063 Kg** **Taille : 172 cm**  
**BMI :** 21,3

#### 57.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 57.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☐ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☐ II : Ovale  
☒ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :**

- Frontales

- Rides du lion

- Fossette mentonnière

- Fossette jugale

**repos**☐ Oui ☒ Non☐ Oui ☒ Non☐ Oui ☒ Non☐ Oui ☒ Non**mouvement**☐ Oui ☒ Non**Sillon nasogénien :**- Au repos : ☒ Présent ☐ Peu marqué ou absent- Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit- Terminaison : ☐ Au dessus ☐ Au niveau ou en dessous de la commissure**Type de sourire volontaire (classification de Rubin) :**☒ Mona lisa☐ Canin☐ Gingival**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures**Commentaires :**

57.1.1.1.1.1.4

4) Facs

Date : 22/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	7	43	6	4	9					5
Mvt 3	26	25	18	39	23	14				6
Mvt 4	23	18	25	26	16	39	23	14	45	9
Mvt 5	12	25	13	45	23					5
Mvt 6										NF



58 NUMERO DE DOSSIER RBM	59 CENTR E	60 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	BT	13

**Date d'inclusion : 07/05/2014**

#### 60.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 21/06/1990  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (m/f) :** F  
**Poids : 75 Kg** **Taille : 169 cm**  
**BMI :** 26,3

#### 60.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

#### 60.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**  
☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale : équilibre des trois tiers** ☐ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**  
☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**  
☒ Gauche  
☐ Droit

**Rides :** repos mouvement

- Frontales ☐ Oui ☒ Non
- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non
- Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non
- Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☒ Oui ☐ Non:
- Si, oui** ☒ Droite ☒ Gauche

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent
- Au sourire : ☒ Concave ☐ Convexe ☐ Droit
- Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire :**

- ☒ Mona lisa
- ☐ Canin
- ☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☒ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive
- ☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et la gencive interdentaire (papille gingivale) est visible
- ☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

-----

-----

-----

-----

61 NUMERO DE DOSSIER RBM	62 CENTRE	63 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	DP	03

Date d'inclusion : 20/01/2012

63.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

Date de naissance : 28/07/1982  
Lieu de naissance : -----  
Sexe (m/f) : F  
Poids : 55 Kg Taille : 165 cm  
BMI : 20,2

63.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

?

63.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

Forme de visage :

- ☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

Vue frontale : équilibre des trois tiers ☐ Oui ☐ Non

Type d'orbite

- ☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé (à vérifier)

Coté dominant :

- ☒ Gauche  
☐ Droit

Rides :

- Frontales  
- Rides du lion  
- Fossette mentonnière

repos

- ☐ Oui ☒ Non  
☐ Oui ☒ Non  
☐ Oui ☒ Non

mouvement

- Fossette jugale

☐ Oui ☒ Non

☐ Oui ☒ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☒ Peu marqué ou absent  
- Au sourire : ☐ Concave ☐ Convexe ☒ Droit  
- Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire (classification de Rubin) :**

- ☐ Mona lisa  
☐ Canin  
☒ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☒ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive  
☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale  
☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :**

Selon la définition de la classification de Rubin pas de sourire gingival car ne découvre pas toutes les dents, mais découvrément gingival +++  
SNG gauche quasi convexe en DDS

63.1.1.1.1.1.4

4) Facs

Date : 30/06/2014										Nbre total d'AU
Mouvements / codage										
Mvt 1	7	43								2
Mvt 2	7	43	6	4	9	13				6
Mvt 3	45	25	26	18	45					5
Mvt 4	45	25	18	23	25	45	20			7
Mvt 5	45	12	13	25	26	6	45			7
Mvt 6	45	25	12	26	13	6				6

64 NUMERO DE DOSSIER RBM	65 CENTR E	66 PRENOM NOM	N° du sujet
2011-A00532-39	AMIENS	LB	02

**Date d'inclusion : 22/09/2011**

#### 66.1.1.1.1.1.1 1) DONNEES DEMOGRAPHIQUES

**Date de naissance :** 03/11/1984  
**Lieu de naissance :** -----  
**Sexe (m/f) :** F  
**Poids : 052 Kg** **Taille : 165 c**  
**BMI :** 19,1

#### 66.1.1.1.1.1.2 2) ANTECEDENTS FACE

Plaie frontale suturée coté gauche.

#### 66.1.1.1.1.1.3 3) ANALYSE CLINIQUE

**Forme de visage :**

- ☐ Cis  
☐ Transfrontale  
☒ Normo frontale

**Vue frontale :** équilibre des trois tiers ☒ Oui ☐ Non

**Type d'orbite**

- ☐ Ia : Haut et ouvert  
☐ Ib : Rond  
☒ II : Ovale  
☐ III : Allongé

**Coté dominant :**

- ☐ Gauche  
☒ Droit

**Rides :** **repos** **mouvement**

- Frontales ☐ Oui ☒ Non
- Rides du lion ☐ Oui ☒ Non
- Fossette mentonnière ☐ Oui ☒ Non
- Fossette jugale ☐ Oui ☒ Non ☐ Oui ☐ Non

**Sillon nasogénien :**

- Au repos : ☐ Présent ☐ Peu marqué ou absent
- Au sourire ☐ Concave ☐ Convexe ☐ Droit
- Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

Terminaison : ☐ Au dessus ☒ Au niveau ou en dessous de la commissure

**Type de sourire volontaire** (classification de Rubin) :

- ☐ Mona lisa
- ☒ Canin
- ☐ Gingival

**Classification des sourires selon Tjan et al (1984)**

- ☐ **Haut** : représente un sourire découvrant la totalité de la hauteur coronaire des dents maxillaires antérieures et une bande continue de gencive
- ☐ **Moyen** : représente un sourire découvrant de 75 à 100% des dents maxillaires antérieures et seulement la gencive interproximale
- ☐ **Bas** : représente un sourire découvrant moins de 75% des dents maxillaires antérieures

**Commentaires :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

66.1.1.1.1.1.4

4) FACS

☐ Oui ☒ Non

Si, oui date : [ ] [ ] / [ ] [ ] / [ ] [ ]



## ANNEXE 2





Région Anatomique	Commentaires	AU	Muscles en jeu selon le testing
<b>Tiers Supérieur et Orbite</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Front/Sourcil</li> <li>• Paupière</li> </ul>	Action des fibres médianes (élévation de la partie interne du sourcil)	1	Frontalis (fibres médianes)
	Action des fibres latérales (élévation de la partie externe du sourcil)	2	Frontalis (fibres latérales)
	Abaissement du sourcil Apparition de rides glabellaires horizontales	4	Corrugator/Depressor supercilii/ Pyramidal Action combinée fréquente avec AU 9
	Élévation de la paupière « écarquillement »	5	Releveur de la paupière
	Contraction de la pars orbitalis de l'orbiculaire oculi avec apparition de rides de la patte d'oie marquées	6	Orbiculaire des paupières (pars orbitalis)
	Contraction de la pars palpebralis de l'orbiculaire oculi avec élévation du bord libre palpébral inférieur et rétrécissement de la fente palpébrale	7	Orbiculaire des paupières (pars palpebralis)
	Contact entre les 2 bords libres palpébraux. Fermeture des paupières	43	Relaxation du releveur de la paupière/orbiculaire des paupières pars palpebralis

				paupière et contraction de la pars palpébralis de l'orbiculaire des paupières	
Tiers moyen et Inférieur	Nez	Apparition de rides paralatéronasales/ froncement de la peau paralatéronasale		9	Releveur de la lèvre et de l'aile du nez Action combinée fréquente avec l'AU 4
	Lèvre	Relever la lèvre supérieure pour découvrir les dents/ (Portion interne est plus élevée-à l'horizontale- que la portion externe)		10	Canin
		Protrusion labiale "fool" / O		18	Orbicularis Ori +++ Carré du menton
		Protrusion labiale "flirt"/lèvres formant un O ouvert		22	Orbicularis Ori
		Protraction linguale en avant des dents		19	Muscles linguaux
		Abaissement de la lèvre / lèvres retroussées		16	Carré du Menton
		Pincement/ compression	Pincement : Mise en tension des lèvres "	23	Orbiculaire Ori (partie interne= compresseur des lèvres)
		Ouverture buccale	Lèvres non en contact	25	Relâchement orbiculaire des lèvres
			Non active Augmentation	26	Relâchement des élévateurs de la mandibule (Masséter/Temporaux/ptérygoïdiens)

		de l'espace entre les arcades dentaires		
		Baillement	27	Ptérygoïdiens latéraux/Digastrique :sus hyoïdiens
	Menton	Elévation du menton	17	Houpe
	Commissures	Abaissement des commissures	15	Triangulaire=Depressor anguli oris
		Etirement dans un plan horizontal	20	Risorius
		Etirement vers le Haut	12	Grand Zygomatique
		Etirement en arrière. Allongement de la fente buccale. Muqueuse jugale plaquée contre les arcades dentaires	14	Buccinateur
	Sillon Nasogénien/Joue	Approfondissement du sillon nasogénien	11	Petit zygomatique
		Apparition d'une fossette commisurale / muqueuse jugale plaquée contre les arcades	14	Buccinateur
		Augmentation de volume au dessus du sillon nasogénien. Elévation de lèvre supérieure en découvrant les incisives	13	Releveur de la lèvre supérieure
	Narine	Dilatation	38	Dilatateur des narines -Transverse Fibres alaires.
		Compression des narines	39	Transverse fibres transversales Myrtiforme
	Cou	Contraction des peauciers du cou	21	Muscles peauciers
	Dents	Arcades dentaires en contact	31	Masséter/Temporal/Ptérygoïdien

	Neutre		Position neutre		médiaux
Partie de la face masquée				0	
	Tiers inférieur de la face			72	
	Face entière			73	
	Incodable			74	
	Front			70	
	Yeux			71	



## ANNEXE 3



<p align="center"><b>NOTE D'INFORMATION DESTINÉE AUX PATIENTS POUR LA PARTICIPATION AU PROTOCOLE DE RECHERCHE « ÉTUDE BIOMÉCANIQUE DES MUSCLES PEAUCIERS EN IRM 3 TESLA, SIMOVI IRM »</b></p>
---

PROMOTEUR	INVESTIGATEUR COORDONNATEUR
<b>Madame Catherine GEINDRE</b> Directrice Générale du CHU d'Amiens <b>Par délégation, Monsieur le Docteur Jean-Claude BARBARE</b> Coordonnateur de la Recherche Clinique et de l'Innovation CHU d'Amiens – Site Nord 1 Place Victor PAUCHET 80054 AMIENS Cedex Tél. : 03-22-66-80-60 Fax : 03-22-66-87-52 Email : <a href="mailto:barbare.jeanclaudio@chu-amiens.fr">barbare.jeanclaudio@chu-amiens.fr</a>	<b>Madame le Docteur Stéphanie DAKPE</b> Service de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale CHU d'Amiens – Site Nord 1 Place Victor PAUCHET 80054 AMIENS Cedex Tél. : 03-22-66-83-22 Fax : 03-22-66-83-29 Email : <a href="mailto:dakpe.Stephanie@chu-amiens.fr">dakpe.Stephanie@chu-amiens.fr</a>

Madame, Monsieur,

Vous êtes invité(e) à participer à une étude clinique intitulée « Etude biomécanique des muscles peauciers en IRM 3 tesla, SIMOVI IRM ». Avant de décider d'y participer, il est important que vous compreniez pourquoi cette étude est effectuée ainsi que ses implications. Veuillez prendre le temps de lire attentivement les informations suivantes. Posez-nous des questions si quelque chose ne vous paraît pas assez clair ou si vous souhaitez des informations complémentaires. Prenez tout votre temps pour prendre votre décision. Ne donnez votre accord de participation que si vous avez bien compris tous les détails de l'étude.

## 1. Quel est l'objectif de cette étude ?

Le but de l'étude à laquelle nous vous proposons de participer est d'étudier certains mouvements de la mimique faciale, ces mouvements sont assurés par des muscles n'ayant pas d'autres équivalents dans le corps humain, se sont les muscles peauciers. En effet, la plupart des muscles de l'organisme ont des insertions osseuses alors que les muscles peauciers terminent sur la peau du visage, entraînant par leurs contractions des déformations cutanées, qui sont à l'origine des expressions du visage, exemple le sourire.

L'altération des muscles peauciers entraînent un véritable handicap social et personnel : expression altérée, possibilité de diminution de certaines fonctions de la face (protection du globe oculaire par les paupières, difficulté de garder le contenu de la cavité buccale lors de l'alimentation), ces situations sont difficilement supportables pour ceux qui les vivent, la vie de ces derniers ne se conçoit que dans l'isolement social et familial.

L'évaluation du fonctionnement des muscles peauciers se fait à l'heure actuelle soit par une analyse clinique restant subjective, soit à l'aide de l'électromyographie. Cette technique en pratique courante présente plusieurs désavantages : d'abord son caractère invasif, mais aussi la difficulté d'étudier plusieurs muscles à la fois.

C'est pourquoi nous proposons une étude biomécanique des muscles peauciers en IRM 3 tesla, en position statique et dynamique. Aucune étude de ce type n'a encore été réalisée.

## 2. Devez-vous y participer ?

C'est à vous seul de décider de participer ou non à l'étude. Cette lettre d'information qui vous est remise vous appartient et vous pouvez en discuter avec votre médecin et vos

proches. Votre inclusion dans cette étude est subordonnée à l'obligation d'être affilié ou de bénéficier d'un régime d'assurance maladie.

Si vous décidez d'y participer, nous vous demandons de conserver cette lettre d'information et de signer un formulaire de consentement. Vous restez libre d'abandonner à tout moment sans fournir de motif. Toute information nouvelle survenant pendant le déroulement et pouvant éventuellement modifier votre décision de participation vous sera communiquée.

Votre consentement ne décharge pas les organisateurs de l'étude de leurs responsabilités et vous conserverez tous vos droits garantis par la loi.

Le promoteur ou les investigateurs peuvent également interrompre votre participation à l'étude en cas de survenue d'un événement indésirable mettant en jeu votre état de santé.

### **3. Quel est le déroulement de l'étude ?**

Si vous nous donnez votre accord, vous serez reçu(e) en consultation (service de Chirurgie Maxillo-faciale et Stomatologie, Bâtiment 1, CHU d'Amiens – Site Nord). Les mesures cliniques seront effectuées qualitativement par un binôme Chirurgien maxillo-facial et Kinésithérapeute. Lors de cette consultation, nous vous demandons de réaliser certains mouvements de la mimique faciale : Fermeture des yeux normale et forcée, fermeture des lèvres normale et forcée (mouvement du baiser), et des étirements des commissures en découvrant les dents (sourire). Des photographies, des enregistrements vidéoscopiques, des images de stéréocorrélation et des prises de vue avec Visioscanner 3D seront réalisés, avec votre accord, lors de la réalisation de chaque mouvement.

L'enregistrement vidéoscopique de vos mouvements nécessite parfois le positionnement des marqueurs (petites billes) sur votre visage.

La technique de corrélation d'images permet de visualiser, en tridimensionnelle (3D), les déformations du visage à l'aide de deux paires de caméras, positionnées de part et d'autre du visage. Celle-ci peut nécessiter l'application de produits de maquillages hypoallergéniques de la marque "KRYOLAN" :

C'est une méthode non invasive (sans contact) qui permet de mesurer, après calibrage, les déplacements et les déformations à la surface du visage en quelques secondes.

Après cet examen clinique, une IRM sera réalisée afin d'avoir des informations objectives sur les muscles peauciers. Les mêmes mouvements réalisés en examen clinique seront réalisés en IRM.

Ces examens cliniques et les acquisitions pourront être réalisés, en position assise et/ou allongée, au CHU d'AMIENS – Site Nord (service de Chirurgie Maxillo-faciale et Stomatologie, Bâtiment 1), à l'Institut Faire Faces (Hôpital sud), à l'Université de technologie de Compiègne (UTC) ou à Amiens Lab MSC scanning (60 rue de la Vallée, Amiens), en présence d'un investigateur.

### **4. Quelle est la durée de participation du volontaire à la recherche ?**

Dans la mesure du possible, tous les examens (visite clinique, acquisitions iconographiques et IRM) seront réalisés sur la même journée. Cependant, pour des raisons d'accessibilité à l'IRM les acquisitions iconographiques et les examens cliniques peuvent se dérouler sur deux journées différentes.

Par ailleurs, votre participation à ce protocole est totalement volontaire. Votre acceptation ou votre refus ne modifiera en rien les rapports que vous aurez avec votre interlocuteur.



## **5. Quels sont les bénéfices attendus ? :**

Même si aucun bénéfice n'est attendu pour vous, votre participation à l'étude constitue la première étape d'un projet visant la compréhension et l'objectivation de certains mouvements faciaux. Mieux comprendre ces mouvements permettra de mieux les restituer lorsqu'ils sont déficitaires (Le but à long terme étant de progresser dans la restitution de la mimique et d'une expression faciale normale et symétrique chez les patients).

## **6. Qu'elles sont les risques possibles ?**

L'IRM est une méthode non invasive et ne présente aucun risque pour le patient. Toute découverte d'anomalie fortuite lors de cet examen sera communiquée au patient.

Les prises de vue avec le Visioscanner 3D sont non invasives et ne présentent aucun risque. Le Visioscanner 3D fonctionne comme une caméra vidéo, mais au lieu d'une image en deux dimensions, le résultat est une image en trois dimensions capturée à des vitesses allant jusqu'à 15 images par seconde

## **7. Ma participation à cette étude restera-t-elle confidentielle ?**

Si vous décidez de participer à cette étude, tous les renseignements personnels vous concernant seront traités dans la plus stricte confidentialité. Dans le cadre de la recherche à laquelle votre médecin vous propose de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche qui vous a été présenté(e). A cette fin, les données médicales vous concernant et les données relatives à l'étude seront transmises au promoteur de la recherche et aux personnes agissant pour son compte ; CHU Amiens (service de Chirurgie Maxillo-faciale et Stomatologie, service de radiologie), le laboratoire Bio Mécanique et Bio Ingénierie BMBI et le laboratoire Roberval. Ces données seront identifiées par un numéro de code et vos initiales.

En outre, il peut arriver qu'afin de vérifier l'exactitude des informations recueillies, le promoteur de l'étude (le CHU d'AMIENS) et ses représentants dûment mandatés examinent votre dossier. Les fonctionnaires des autorités de contrôle et de réglementation peuvent également demander à consulter votre dossier médical afin de vérifier que l'étude se déroule correctement. En signant le formulaire de consentement, vous (ou votre représentant juridique) autorisez l'accès à ces informations confidentielles. Néanmoins, votre nom ne sera pas révélé en dehors de l'hôpital.

Les photographies et les enregistrements vidéoscopiques seront réalisés dans le plus total respect du droit à l'image.

Ces acquisitions seront à votre disposition sur simple demande à l'investigateur. Elles ne seront diffusées qu'auprès des participants au projet. Et ne seront divulguées que dans un but strictement scientifique.

Le fichier informatique utilisé pour réaliser la présente étude a fait l'objet d'une autorisation de la CNIL en application des articles 40-1, conformément à la loi « informatique et libertés ». Les données médicales vous concernant seront traitées informatiquement et ne seront transmises qu'au promoteur de l'étude, ainsi que, le cas échéant, aux autorités de la santé publique dans des conditions garantissant leurs confidentialités. Conformément à la loi, vous avez la possibilité d'exercer vos droits d'accès et de rectification aux données informatiques soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire du médecin investigateur.

## **8. Qu'en sera-t-il des résultats de l'étude ?**

En accord avec la loi du 4 mars 2002, si vous le souhaitez, vous serez tenu informé des résultats globaux de cette recherche une fois celle-ci achevée. Avec votre accord, votre médecin traitant sera également informé de ces résultats.

#### **9. Frais / remboursements / indemnisation:**

Vous n'aurez pas à engager de frais concernant les examens réalisés durant cette étude. Vous n'aurez rien à payer pour les examens cliniques et radiologiques réalisés dans le cadre de cette étude.

Une compensation financière de 25€ vous sera versée à titre d'indemnisation pour votre participation à l'étude.

#### **10. Législation**

Cette étude est en conformité avec le Code de la Santé Publique, titre II du livre premier relatif aux recherches biomédicales. Un contrat d'assurance (numéro de police :133.137) a été souscrit par le promoteur de l'essai, auprès de la Société Hospitalière d'Assurance mutuelle (SHAM, 18 rue Edouard Rochet, 69372 Lyon cedex 08), pour couvrir les risques liés à cette recherche. Conformément à la Loi française, n°2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique, le Comité de Protection des Personnes (CPP) Nord-ouest II, a étudié ce projet de recherche et a émis un avis favorable à sa réalisation le 10 juin 2011.

#### **11. Qui puis-je contacter si je souhaite poser des questions ou en cas de problème ?**

Vous avez le droit de poser toutes les questions relatives à cette étude, et ce, à tout moment. Veuillez alors contacter le médecin qui vous propose d'y participer:

Dr : Dakpé stéphanie

tél : 03 22 66 87 28

Nous vous remercions d'avoir pris le temps, de lire attentivement ce document et vous remercions d'accepter de prendre part à cette étude.

A ....., Le .....,

Nom et Signature de l'investigateur qui remet cette lettre

**FORMULAIRE DE RECUEIL DU CONSENTEMENT PATIENTS AU PROTOCOLE  
DE RECHERCHE « « ÉTUDE BIOMÉCANIQUE DES MUSCLES PEAUCIERS  
EN IRM 3 TESLA, SIMOVI IRM»**

PROMOTEUR	INVESTIGATEUR COORDONNATEUR
<b>Madame Catherine GEINDRE</b> Directrice Générale du CHU d'Amiens <b>Par délégation, Monsieur le Docteur Jean-Claude BARBARE</b> Coordonnateur de la Recherche Clinique et de l'Innovation CHU d'Amiens – Site Nord 1 Place Victor PAUCHET 80054 AMIENS Cedex Tél. : 03-22-66-80-60 Fax : 03-22-66-87-52 Email : <a href="mailto:barbare.jeanclaude@chu-amiens.fr">barbare.jeanclaude@chu-amiens.fr</a>	<b>Madame le Docteur Stéphanie DAKPE</b> Service de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale CHU d'Amiens – Site Nord 1 Place Victor PAUCHET 80054 AMIENS Cedex Tél. : 03-22-66-83-22 Fax : 03-22-66-83-29 Email : <a href="mailto:dakpe.Stephanie@chu-amiens.fr">dakpe.Stephanie@chu-amiens.fr</a>

**Je soussigné(e) :**

**Nom :** ..... **Prénom :** .....

Confirme avoir pris connaissance de la note d'information m'expliquant le protocole de recherche mentionné ci-dessus. J'ai reçu des réponses adaptées aux questions que j'ai voulu poser et j'ai disposé d'un temps de réflexion suffisant entre l'information et ma décision de participer à cette recherche.

Compte-tenu des informations qui m'ont été transmises : Cocher la case appropriée en fonction de votre volonté (oui/non)	OUI	NON
J'accepte librement et volontairement de participer à la recherche mentionnée ci-dessus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'accepte que des photographies, des enregistrements vidéoscopiques, des images de stéréocorrélation et des prises de vue avec Visioscanner 3D soient réalisés lors de l'examen clinique du mon visage pour l'étude	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'accepte que les données recueillies soient utilisées par les membres de l'équipe participant au projet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

J'ai bien noté que je suis libre d'accepter ou de refuser et de me retirer à tout moment de la recherche sans que cela ne change en rien mes relations avec mon interlocuteur. J'en informerai alors le Dr.....

J'ai également bien noté que je suis titulaire d'un droit d'opposition aux traitements de données à caractère personnel. En outre, titulaire d'un droit d'accès et de rectification relatif aux informations me concernant, je peux l'exercer auprès du Dr.....

J'ai noté que cette étude a reçu un avis favorable du Comité de Protection des Personnes (CPP) Nord-Ouest II le.....

J'accepte le traitement informatisé des données nominatives qui me concernent en conformité avec les dispositions de la loi n°2004-801 du 6 août 2004 relative à la protection des personnes physiques à l'égard des traitements de données à caractère personnel et modifiant la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés et des lois subséquentes qui l'ont modifiée.

J'ai reçu une copie du présent document, ai été informé(e) qu'une copie sera également conservée par le promoteur dans des conditions garantissant la confidentialité et y consens.

Nom du (de la) patient(e) .....

Fait à : .....

Date : .....

SIGNATURE précédée de la mention « Lu, compris et approuvé »

.....

Nom du médecin .....

Fait à : .....

Date: .....

SIGNATURE:.....



## ANNEXE 4

---

Protocol: SIMOVI 15dec 13

PATIENT POSITION		IMAGING PARAMETERS	
Patient Entry	Head First	Gradient Mode	ZOOM
Patient Position	Supine	Imaging Mode	3D
Coil Configuration	8HRBRAIN	Pulse Sequence	SPGR
Plane	OBLIQUE	Imaging Options	Fast, IrP, ZIP512, ZIP2, Asset
Series Description	SAG 3D IR FSPGR ASSET	Acceleration Factor	1.00
SCAN TIMING		SCAN RANGE	
Flip Angle	15	FOV	24.0
TE	In Phase	Slice Thickness	1.6
TI	400	Location per Slab	44
Receiver Bandwidth	20.83	Overlap Locations	0
IMAGE ENHANCE		ACQ TIMING	
Filter Choice	None	Freq	416
		Phase	288
		Freq DIR	S/I
		NEX	1.00
		Phase FOV	1.00
		Auto Shim	Auto
		Phase Correction	No
GATING/TRIGGER		USER CVS	
Auto Trigger Type	Off	User CV6	1.00
		User CV23	100.00
FMRI		MULTI-PHASE	
PSD Trigger	Internal	# of Acquisition	0
Slice Order	Interleaved	Seperate Series	0
View Order	Bottom/Up	Mask Phase	0
# of Repetitions REST	0	Mask Pause	0
# of Repetitions ACTIVE	0		
SAT		DIFFUSION	
Tag Type	None	Recon All Images	On
ASSET		TRICKS	
Slice Acceleration Factor	1.00	Pause On/Off	On
Phase Acceleration Factor	2.00	Auto Subtract	0
		Auto SCIC	On
TRACKER		CONTRAST	
Tracker Length	200.0	Contrast Yes/No	No
Tracker Thickness	20.0		
MULTI-STATION			
Number of Stations	0		
Station Number	0		

SAG 3D IR FSPGR ASSET

SAG 3D IR FSPGR ASSET

## ANNEXE 5





DP04 G

curve	I1	I2	longueu	%longueu	I1/I2
A	192,2	151,2	44,22	0	1,27
B	439,6	364,6		9,317051108	1,21
C	375,8	292,8		19,31252827	1,28
D	716,2	623,3		30,77792854	1,15
E	708,7	628,8		42,58254184	1,13
F	1333	1238		58,81953867	1,08
G	1061	968,2		70,15829941	1,10
H	665,2	607,9		80,42514699	1,09
I	62,66	53,82		91,41564903	1,16
J	9,48	7,76		100	1,22

DP04 D	Colonne1	Colonne2	Colonne3	Colonne4	Colonne5
curve	I1	I2	longueur	%longueur	I1/I2
A	45,71	35,26	39,61	0	1,30
B	367,9	311,5		10,40141378	1,18
C	427,8	362,1		19,78288311	1,18
D	314,4	261,1		31,31027518	1,20
E	545,1	479		44,0747286	1,14
F	701,4	626,2		66,08937137	1,12
G	423,7	352,1		80,73213835	1,20
H	205,1	169,1		89,99747539	1,21
I	38,68	31,39		100	1,23
J					

JB09 DT

curve	I1	I2	longueu	%longueu	I1/I2
A	142,1	130,3	40,13	0	1,09
B	473	425		11,81161226	1,11
C	511,1	459,1		21,15624221	1,11
D	531,5	477,6		32,12060802	1,11
E	500,4	459,3		43,72539247	1,09
F	860,6	784,4		54,04933965	1,10
G	917,8	859,2		65,4747072	1,07
H	617,7	566,6		73,40642911	1,09
I	252,6	202,6		88,70919512	1,25
J	134,9	97,94		100	1,38

JB09 G

curve	I1	I2	longueu	%longueu	I1/I2
A	104,9	97,35	43,82	0	1,08
B	370,1	332,7		8,694659973	1,11
C	524,7	484		19,49566408	1,08
D	735,1	656,5		31,35554541	1,12
E	599,7	542,7		40,39023277	1,11
F	816,8	759,5		52,78799635	1,08
G	465,3	433,8		66,62368781	1,07
H	596,5	529,6		80,90415335	1,13
I	107,8	86,76		89,75627567	1,24
J	74,03	54,21		100,013236	1,37

GP06 D

curve	I1	I2	longueu	%longueu	I1/I2
A	145	123,4	42,475	0	1,18
B	131,9	112,7		9,319835197	1,17
C	461,5	397,3		21,91030018	1,16
D	332,5	261		31,66535609	1,27
E	379,7	270		41,40143614	1,41
F	312,7	248,2		52,85570335	1,26
G	489,8	435,1		63,35105356	1,13
H	829	755		75,58154208	1,10
I	113,9	88,22		91,81697469	1,29
J	25,69	19,17		99,99990583	1,34

GP06 G

curve	I1	I2	longueu	%longueu	I1/I2
A	48,62	33,1	43,965	0	1,47
B	96,05	66,19		8,855225748	1,45
C	283,5	294,2		19,44173775	0,96
D	461	415,1		31,95942227	1,11
E	427,8	382,5		40,28149665	1,12
F	208,4	182,4		50,9040373	1,14
G	140,8	124,7		65,84182873	1,13
H	170,9	127,6		75,93940635	1,34
I	194,9	165,1		88,1575344	1,18
J	103,4	72,28		99,98512453	1,43

LB03G

curve	I1	I2	longueu	%longueu	I1/I2
A	34,6	29,95	36,82	0	1,16
B	80,09	63,4		10,40141378	1,26
C	116,5	97,89		18,34915425	1,19
D	349,5	298,4		31,52764453	1,17
E	303,5	265,8		39,29083565	1,14
F	290,1	265		50,59101237	1,09
G	587,2	546,8		59,52310023	1,07
H	1038	976,3		73,09795506	1,06
I	312,4	285,9		84,56475637	1,09
J	265,7	233,5		100	1,14

LD01 DT

Colonne1	Colonne2	Colonne3	Colonne4	Colonne5	Colonne6
curve	I1	I2	%longueur		I1/I2
A	9,349	53,42	43,65	0	0,18
B	77,02	57,13		13,26183276	1,35
C	61,32	41,19		23,13537228	1,49
D	72,05	55,28		32,77376861	1,30
E	101,9	85,01		42,26813288	1,20
F	158,5	119,9		54,31372279	1,32
G	145,8	108,4		67,92449026	1,35
H	139	103,9		81,25278351	1,34
I	52,13	33,98		90,81887743	1,53
J	6,409	5,156		100	1,24

# BIBLIOGRAPHIE



Adour KK, Swanson PJ. Facial paralysis in 403 consecutive patients: emphasis on treatment response in patients with Bell's palsy. *Trans - Am Acad Ophthalmol Otolaryngol Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1971;75:1284–301.

Baik HS, Kim SY. Facial soft-tissue changes in skeletal Class III orthognathic surgery patients analyzed with 3-dimensional laser scanning. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Aug;138(2):167-78.

Bensamoun SF, Ringleb SI, Littrell L, Chen Q, Brennan M, Ehman RL, An KN. Determination of thigh muscle stiffness using magnetic resonance elastography. *J Magn Reson Imaging*. 2006 Feb;23(2):242-7.

Botman JW, Jongkees LB. The result of intratemporal treatment of facial palsy. *Pract Otorhinolaryngol (Basel)* 1955;17:80–100.

Brix M, Raphaël B. La fonction labiale. *Ann Chir Plast Esthet*. 2002 Oct;47(5):357-69.

Burres SA. Facial biomechanics: the standards of normal. *Laryngoscope*. 1985, 95 : 708-14.

Burres SA, Fisch U. The comparison of facial grading systems. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 1986, 112 : 755-8.

Chevalier AM, Lacote . Evaluation de la fonction musculaire. Ed maloine. Paris, 1996.

Chevalier A.M. Rééducation des paralysies faciales centrales et périphériques. Editions techniques. *Encycl. Méd. Chir. (Paris, France), Kinésithérapie*, 26463 B<sup>10</sup>, 5-1990, 16p.

Coulson SE, Croxson GR, Gilleard WI. Three dimensional quantification of points during normal facial movement. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1999, 108 : 265-8.

Croxson G, May M, Mester SJ. Grading facial nerve function : House-Brackmann versus Burres-Fisch methods. *Am J Otolaryngol*, 1990, 11 : 240-6.

Dakpé S. Image d'une transplantée faciale: à propos de l'intégration neurologique d'une allotransplantation du triangle nez-lèvres-menton. Thèse de doctorat en médecine. Université Picardie Jules Verne. Amiens 2006.

Davrou J. Architecture des tissus mous de la face et frontières du système musculo-aponévrotique superficiel, Etude anatomique et Histologique. Thèse de doctorat en médecine. Université Henri Poincaré. Nancy 2010.

Delaporte F., Fournier E., Devauchelle B. La fabrique du visage. De la physiognomonie antique à la première greffe. Tome 85. Brepols Publishers 2010.

Del Giudice M, Colle L. Differences between children and adults in the recognition of enjoyment smiles. *Dev Psychol*. 2007 May;43(3):796-803.

Deng J, Newton NM, Hall-Craggs MA, Shirley RA, Linney AD, Lees WR, Rodeck CH, McGrouther DA. Novel technique for three-dimensional visualisation and quantification of deformable, moving soft-tissue body parts. *Lancet*. 2000 Jul 8;356(9224):127-31.

Delmar H. Anatomie des plans superficiels de la face et du cou. Annales de chirurgie plastique et esthétique, 1994. 39(5) : p.527-555.

Djordjevic J, Lewis BM, Donaghy CE, Zhurov AI, Knox J, Hunter L, Richmond S. Facial shape and asymmetry in 5-year-old children with repaired unilateral cleft lip and/or palate: an exploratory study using laser scanning. Eur J Orthod. 2014 Oct;36(5):497-505.

Dubernard JM, Lengelé B, Morelon E, Testelin S, Badet L, Moure C, Beziat JL, Dakpé S, Kanitakis J, D'Hauthuille C, El Jaafari A, Petruzzo P, Lefrançois N, Taha F, Sirigu A, Di Marco G, Carmi E, Bachmann D, Cremades S, Giraux P, Burloux G, Hequet O, Parquet N, Francès C, Michallet M, Martin X, Devauchelle B. Outcomes 18 months after the first human partial face transplantation. N Engl J Med. 2007 Dec 13;357(24):2451-60.

Duchenne de Boulogne. La mécanique des passions. Paris, 1855

Ekman P, Davidson RJ, Friesen WV. The Duchenne smile: emotional expression and brain physiology. II. J Pers Soc Psychol 1990;58:342-53.

Ekman P, Friesen W.V. Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues Consulting psychologists press (Palo Alto, Californie 1984)

Ekman P, Friesen, W.V. Ekman. Felt, false and miserable smiles. Journal of Nonverbal Behavior, 6, 238-252.

Ekman P, Friesen WV. Measuring facial movement. Environ Psychol Nonverbal Behav 1976;1:56-75.

Ekman P, Friesen WV. Facial Action Coding System. Consulting Psychologists Press. 1978.

Ekman P, Friesen WV, Hager JC. Facial action coding System. The Manual on CD ROM & Investigator's Guide. 2002 | ISBN: 0931835011 | 527+197 pages. <http://www.ebookmax.org>

Ermiane R. Jeux musculaires et expressions du visage. Paris 1949 : Le François.

Exner P. Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychischen Prozesse. 2 Theil Abhandl. lieber Reflexzeit und Rückenmarksleitung. Pflüger's Arch. vol. VIII, 1874.

Fabre G. Morphométrie des muscles peauciers de la face. Etude anatomique et revue de la littérature. Thèse de doctorat en médecine. Université Paul Sabatier. Toulouse 2004.

Farahvash, M. R., Abianeh, S. H., Farahvash, B., Farahvash, Y., Yagoobi, A., & Nazparvar, B. Anatomic variations of midfacial muscles and nasolabial crease : a survey on 52 hemifacial dissections in fresh Persian cadavers. Aesthetic surgery journal. 2010, 30(1), 17-21.

Farrugia ME, Bydder GM, Francis JM, Robson MD. Magnetic resonance imaging of facial muscles Clinical Radiology (2007) 62, 1078-1086.

Farrugia ME, Robson MD, Clover L, Anslow P, Newsom-Davis J, Kennett R, Hilton-Jones D, Matthews PM, Vincent A. MRI and clinical studies of facial and bulbar muscle involvement in MuSK antibody-associated myasthenia gravis. Brain. 2006 Jun;129(Pt 6):1481-92.

Fisher, C.G. (1968). Confusions among visually perceived consonants. *Journal of Speech and Hearing Research*, 11(4):796–804.

Fleiss, J.L and Cohen (1973) « The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability in Educational and Psychological Measurement, Vol. 33 p 613-619.

Frey M, Jenny A, Giovanoli P, Stüssi E. Development of a new documentation system for facial movements as a basis for the international registry for neuromuscular reconstruction in the face. *Plast Reconstr Surg*.1994 ;93 :1334-49.

Frey M, Giovanoli P, Gerber H, Slameczka M, Stüssi E. Three-dimensional video analysis of facial movements: a new method to assess the quantity and quality of the smile. *Plast Reconstr Surg*. 1999 Dec;104(7):2032-9.

Freyss G, Haguet JF, Danon J, Burgeat-Menguy. Attempted evaluation of esthetic damage in facial paralysis by clinical examination and testing. *Ann Oto-Laryngol Chir Cervico Faciale Bull Société Oto-Laryngol Hôp Paris* 1971;88:654–62.

Furnas D. W. The retaining ligaments of the cheek. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1989.83(1: 11-16).

Garson S. Les visages de la senescence faciale. Etude morphométrique tridimensionnelle à propos de 73 cas.Thèse de doctorat en médecine n°106. Université Picardie jules verne. Amiens 2001.

Gasser R.F. The development of facial muscles in man. *American journal of anatomy*, 1967.120: P.357-76.

Gatignol P & Lannadere E. Entretiens de Bichat d'orthophonie 2011. Prise en charge des paralysies périphériques faciales.

Groleau J. Chabanas M., Marecaux C., Payrard N., Segaud B., Rochette M., Perrier P., Payan Y. A biomechanical model of the face including muscles for the prediction of deformations during speech production. 5th International Workshop on Models and Analysis of Vocal Emissions for Biomedical Applications, MAVeBA'2007, 2007, Firenze, Italy. pp.173-176, 2007

Haase D(1), Minnigerode L, Volk GF, Denzler J, Guntinas-Lichius O. Automated and objective action coding of facial expressions in patients with acute facial palsy. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2014 Nov 6.

Hartl DM, Kolb F, Bretagne E, Bidault F, Sigal R. Cine-MRI swallowing evaluation after tongue reconstruction. *Eur J Radiol*. 2010 Jan;73(1):108-13.

Henri V. Garten S. Étude sur la durée du clignement des paupières. In: *L'année psychologique*. 1898 vol. 5.pp.605-607.[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy\\_00035033\\_1898\\_num\\_5\\_1\\_3071](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/psy_00035033_1898_num_5_1_3071)

Héral O. Le Traité pratique de phonologie et de phoniatrie de Jean Tarneaud et Suzanne Borel-Maisonny (1941). Nov 2011, *L'orthophoniste* N°313.

Hislop H, Montgomery J. Le bilan musculaire de Daniels et Worthingham: Techniques de testing manuel. Elsevier Masson; Paris 2011.

Ho Ba THO MC, Dakpé S, Dao TT, Devauchelle B, Rachik M(2013) Modélisation personnalisée de l'activation du muscle zygomatique via l'IRM. Application à la simulation de la mimique faciale. In : 11<sup>ème</sup> Colloque national en Calcul des Structures- CSMA 13-17 Mai.

Hontanilla B, Aubà C. Automatic 3D quantitative analysis for evaluation of facial movement. *Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgery* (2008) 61, 18-30.

House JW. Facial nerve grading systems. *The Laryngoscope* 1983;93:1056–69.

Huis In 't Veld EM, van Boxtel GJ, de Gelder B. The Body Action Coding System II: muscle activations during the perception and expression of emotion. *Front Behav Neurosci*. 2014 Sep 23;8:330.

Iblher N, Gladilin E, Stark BG. Soft-tissue mobility of the lower face depending on positional changes and age: a three-dimensional morphometric surface analysis. *Plast Reconstr Surg*. 2013 Feb;131(2):372-81.

Isley CL Jr, Basmajian JV. Electromyography of the human cheeks and lips. *Anat Rec*. 1973 Jun;176(2):143-7.

Isono m, Murata k, Tanaka h, Kawamoto m, Azuma H. An objective evaluation method for facial mimic motion. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1996;114:27–31.

Johnston DJ, Millett DT, Ayoub AF, Bock M. Are facial expressions reproducible? *Cleft Palate Craniofac J*. 2003 May;40(3):291-6.

Kamina P. Anatomie Clinique. 3e édition. Tome 2. Paris : Editions Maloine, 2006.

Kau CH, Richmond S, Savio C, Mallorie C. Measuring adult facial morphology in three dimensions. *Angle Orthod*. 2006 Sep;76(5):773-8.

Kaylie DM, Wax MK, Weissman JL. Preoperative facial muscle imaging predicts final facial function after facial nerve grafting. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2003 Mar;24(3):326-30.

Kleinheinz J, Joss U .Imaging of cartilage and mimic muscles with MRI : anatomic study in healthy volunteers and patients with unilateral cleft lip and palate. *Cleft Palate Craniofacial Journal*, July 2001, vol 38 n°4.

Koller R, Kargül G, Giovanoli P, Meissl G, Frey M. Quantification of functional results after facial burns by the faciometer. *Burns*. 2000Dec;26(8):716-23.

Lazarini P, Mitre E, Takatu E, Tidei R. Graphic-visual adaptation of House–Brackmann facial nerve grading for peripheral facial palsy. *Clin Otolaryngol* 2006;31:192–7.

Le Double AF. Traité des variations du système musculaire de l'homme 1897, Paris : Schleicher frères

Lemaire A, Dakpé S, Lafitte J, Sorrel-Déjerine E, Testelin S. Enophtalmos of the anophtalmic socket: incidence of the orbital morphology and therapeutic implications. Clinical study of 86 cases. *Ann Chir Plast Esthet*. 2012 Dec;57(6):549-57.

Letourneau A, Daniel RK. The superficial musculoaponeurotic system of the nose. *Plast Reconstr Surg*.

1988 Jul;82(1):48-57.

Li G, Wei J, Wang X, Wu G, Ma D, Wang B, Liu Y, Feng X. Three-dimensional facial anthropometry of unilateral cleft lip infants with a structured light scanning system. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2013 Aug;66(8):1109-16.

Lin AI, Braun T, McNamara JA Jr, Gerstner GE. Esthetic evaluation of dynamic smiles with attention to facial muscle activity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2013 Jun;143(6):819-27.

Linstrom CJ, Silverman CA, Susman WM. Facial motion analysis with a video and computer system : a preliminary report. *Am J Otol*, 2000, 21 : 123-9.

Manktelow RT, Zuker RM, Tomat LR. Facial paralysis measurement with a handheld ruler. *Plast Reconstr Surg*. 2008 Feb;121(2):435-42

May M, Blumenthal F, Taylor FH. Bell's palsy: surgery based upon prognostic indicators and results. *The Laryngoscope* 1981;91:2092–103.

Mayhew P. On the time of reflex winking. *Journal of experim. med.*, vol. II, 1897, p. 30.

McAlister RW, Harkness EM, Nicoll JJ. An ultrasound investigation of the lip levator musculature. *Eur J Orthod*. 1998 Dec;20(6):713-20.

Meier-Gallati V, Scriba H, Fisch U. Objective scaling of facial nerve function based on area analysis (OSCAR). *Otolaryngol–Head Neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol–Head Neck Surg* 1998;118:545–50.

Mishima K, Yamada T, Fujiwara K, Sugahara T. Development and clinical usage of a motion analysis system for the face: preliminary report. *Cleft Palate Craniofac J*. 2004 Sep;41(5):559-64.

Mishima K, Yamada T, Matsumura T, Moritani N. Analysis of lip motion using principal component analyses. *J Craniomaxillofac Surg*. 2011 Jun;39(4):232-6.

Neely JGMD, Cheung JYPD, Wood MMD, Byers JMD, Rogerson AMD. Computerized quantitative dynamic analysis of facial motion in the paralyzed and synkinetic face. *J Otol March* 1992;13:97–107.

Payan Y et al., C. R. Biologies 325 (2002) 407–417. 2002. Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Peckitt NS, Walker RV, Barker GR. The facial nerve function coefficient: Analysis of 100 normal subjects. *J Oral Maxillofac Surg* 1992;50:338–9.

Peitersen E. The natural history of Bell's palsy. *Am J Otol* 1982;4:107–11.

Pessa, J. E., Zadoo, V. P., Adrian, E. K., Yuan, C. H., Aydelotte, J., & Garza, J. R. (1998). Variability of the midfacial muscles : analysis of 50 hemifacial cadaver dissections. *Plastic and reconstructive surgery*, 102(6), 1888–93.

Pessa, J. E., Zadoo, V. P., Garza, P. A., Adrian, E. K., Dewitt, A. I., & Garza, J. R. (1998). Double or bifid zygomaticus major muscle : anatomy, incidence, and clinical correlation. *Clinical anatomy*, 11(5), 310–3.

Phillips E. La classification des types de sourire. Journal de l'Association Dentaire Canadienne : Mai 1999, vol. 65, n°5

Plooij JM, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Bergé SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. Int J Oral Maxillofac Surg. 2011 Apr;40(4):341-52.

Poirrier P, Charpy A. Traité d'anatomie humaine. Myologie, vol. 2, 1901, Paris, Masson.

Rezaeitabar Y, Ulusoy I. Automatic 3D segmentation of individual facial muscles using unlabeled prior information. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2012 Jan;7(1):35-41.

Rickenmann J, Jaquenod C, Cerenko D, Fisch U. Comparative value of facial nerve grading systems. Otolaryngol Head Neck Surg 1997;117:322–5.

Rojo R, Prados-Frutos JC, López-Valverde A. Pain assessment using the Facial Action Coding System. A systematic review. Med Clin (Barc). 2014 Nov 26.

Ross BG, Fradet G, Nedzelski JM. Development of a sensitive clinical facial grading system. Otolaryngol Head Neck Surg 1996;114:380–6.

Rouvière H. Anatomie humaine descriptive, topographique et fonctionnelle Tome 1, Tête et cou, 15<sup>e</sup> édition. 1991.

Rubin LR. The anatomy of a smile : its importance in the treatment of facial paralysis. Plast reconstr Surg 1974 ; 53 :384-7.

Rubin LR, Mishriki Y, Lee G. Anatomy of the nasolabial fold: the keystone of the smiling mechanism. Plast Reconstr Surg. 1989 Jan;83(1):1-10.

Scriba H, Stoeckli SJ, Veraguth D, Pollak A, Fisch U. Objective evaluation of normal facial function. Ann Otol Rhinol Laryngol 1999;108:641–4.

Shimomatsu K, Nozoe E, Ishihata K, Okawachi T, Nakamura N. Three-dimensional analyses of facial soft tissue configuration of Japanese females with jaw deformity--a trial of polygonal view of facial soft tissue deformity in orthognathic patients. J Craniomaxillofac Surg. 2012 Oct;40(7):559-67.

Sifakis E ; Neverov I, Fedkiw R. Automatic determination of facial muscle activations from sparse motion capture marker data ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005. Volume 24 Issue 3, July 2005 .Pages 417-425.

Sobotta. Atlas d'anatomie humaine – Tome 13 – Edition française .Edition Médicale Internationale, Paris, 1994.

Testut. Traité d'anatomie humaine. 1899, Paris

Tjan AH, Miller GD, The JG. Some esthetic factors in a smile. J Prosthet Dent. 1984 Jan;51(1):24-8.

Todd R. Olson Atlas d'anatomie humaine ADAM®, Todd R. Olson (2002) Atlas d'anatomie humaine ADAM®, (2002)



Tomat LR.Evaluation of a new measurement tool for facial paralysis reconstruction *Plast Reconstr Surg*, 2005, 115 : 696-704.

Trotman CA, Faraway JJ, Essick GK.. *Plast Reconstr Surg*. 2000 Apr;105(4):1273-83.

Volk GF, Karamyan I, Klingner CM, Reichenbach JR, Guntinas-Lichius O. Quantitative magnetic resonance imaging volumetry of facial muscles in healthy patients with facial palsy. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2014 Jul 9;2(6):e173.

Williams, P., Warwick,R. *Gray's Anatomy*,37th ed. Philadelphia: Saunders,1989 .Pp.569-580.

Wood DA, Hughes GB, Secic M et al.Objective measurement of normal facial movements with video microscaling. *Am J Otolaryngol*, 1994, 15 : 61-5

Yanagihara N. Grading of facial palsy. *Facial Nerve Surgery*. Birmingham: Aesculapius; 1977.

Yuen k, Inokuchi i, Maeta m, Kawakami s-i, Masuda y. Evaluation of facial palsy by moire topography index. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1997;117:567–72.

Zachrisson BU. Esthetic factors involved in anterior tooth display and the smile: vertical dimension. *J Clin Orthod*. 1998;32:432–445.

Zufferey J. Anatomic variations of the nasolabial fold. *Plast Reconstr Surg*.1992 Feb;89(2):225-31; discussion 232-3.

# COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

---

PUBLICATION SOUMISE A UNE REVUE INTERNATIONALE A COMITE DE LECTURE:

**Manuscript Number: BJOMS-D-15-00178**

Quantitative assessment of morphological parameters of mimic facial muscles derived from MRI : Application to the movement of Zygomaticus Major. Stéphanie Dakpé; Tien Tuan Dao; Cécilia Neiva; Philippe Pouletaut; Bernard Devauchelle; Marie-Christine Ho Ba Tho. Soumission au British journal of oral and maxillo facial surgery. Under review.

**COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES DANS LE CADRE DE LA THESE:**

**Subject Specific Modeling of the Muscle Activation.** Application to the Facial Mimics In Knowledge and Systems Engineering Advances in Intelligent Systems and Computing Volume 245, 2014, pp 423-433 [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978---3---319---02821---7\\_37](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978---3---319---02821---7_37).

**SIMOVl Project: Development of originals methods to assess mimic facial movements.** S Dakpé, F-R Sarhan, C Neiva, I Tekaya, K Benmansour, T T Dao, P Feissel, F Marin, M Rachik, S Testelin, B Devauchelle, MC Ho Ba Tho (2014) In: XXII European Congress of Cranio Maxillo Facial Surgery, Prague, Czech Republic, 23-26 September 2014.

**Projet SIMOVl : Est-il possible de quantifier la mimique faciale ?** S.Dakpé, MB Boubaker, L. Edward, C. Hoffmann, TT Dao, P. Feissel, F. Marin, M. Rachik, S. Testelin, MC HoBaTho, B. Devauchelle . 37ème congrès de l'association française des chirurgiens maxillo faciaux –1er congrès de l'association française des chirurgiens de la face. 26-27-28 Avril 2012 Avignon.

**Could we assess the facial mimic movement?** Stéphanie Dakpé, Mohamed Boubaker, Lydie Edward, Cédric Brochart, Tuan Dao, Sylvie Testelin, Pierre Feissel, Frédéric Marin, Marie-christine Hobatho, Bernard Devauchelle . 8th International Bernd – Spiessl – Symposium, june 14th – 16th 2012 - University Hospital Basel, Switzerland. Prix de la meilleure communication

**SIMOVl project : could we assess the facial mimic movement?** Stéphanie Dakpé, Mohamed Boubaker, Lydie Edward, Cédric Brochart, Tuan Dao, Sylvie Testelin, Pierre Feissel, Frédéric Marin, Marie-christine Hobatho, Bernard Devauchelle. XXI Congress of the European Association for Cranio-Maxillo- Facial Surgery 11 – 15 September 2012 Dubrovnik

**Projet SIMOVl : Est-il possible de quantifier la mimique faciale ?** Stéphanie Dakpé, Mohamed Boubaker, Lydie Edward, Cédric Brochart, Tuan Dao, Sylvie Testelin, Pierre Feissel, Frédéric Marin, Marie-christine Hobatho, Bernard Devauchelle. 48ème Congrès SFSCMF, du 27 au 30 septembre 2012. Versailles. Prix de Communication.

**Projet SIMOVl.** Communication affichée SIMOVl lors de la Semaine de la recherche et de l'innovation en Picardie du 27 au 28 novembre 2012. Amiens

**Modélisation personnalisée de l'activation du muscle zygomatique via l'IRM. Application à la simulation de la mimique faciale.** MC Ho Ba THO, S Verfaillie-Dakpé, TT Dao, B Devauchelle, M Rachik (2013) In : 11ème Colloque national en Calcul des Structures-CSMA 13-17 Mai.

**Subject specific facial mimics simulation derived from MRI.** TT Dao, S.Dakpé, P Pouletaut, B Devauchelle, MC Ho Ba Tho (2013). In: 19th Congress of the European Society of Biomechanics, University of Patras, Greece, 25-28 August 2013

**Simulation des mouvements du visage (Projet SIMOVI).** M.C. HO BA THO (UTC), Stéphanie DAKPE (CHU Amiens). Première journée scientifique Institut Faire Faces. 28 septembre 2013 Amiens

**Subject Specific Modeling of the Muscle Activation. Application to the Facial Mimics.** MC Ho Ba Tho, TT Dao, S F Bensamoun, S Dakpe, B Devauchelle, M Rachik (2013). In: The Fifth International Conference on Knowledge and Systems Engineering, October 17-19, 2013 Hanoi, Vietnam

**Subject specific modeling of facial mimics derived from MRI data.** A.X Fan, S Dakpé, TT Dao, P Pouletaut, M Rachik, MC Ho Ba Tho. 2nd International Conference on Multi-scale Computational Methods for Solids and Fluids, accepted, 10-12, June 2015, Sarajevo.

## RESUME

Ce travail de thèse, inclus dans un projet structurant plus vaste, projet SIMOVI (**S**imulation des **M**ouvements du **V**isage), s'attache à étudier spécifiquement la mimique faciale en corrélant les déplacements visibles du revêtement cutané et les mouvements musculaires internes à travers le développement de plusieurs méthodologies.

L'ensemble de la mimique faciale ne pouvant être étudié, étant donné la multitude d'expressions, les mouvements pertinents à étudier dans nos travaux ont été identifiés.

Ces mouvements ont été caractérisés chez 23 sujets jeunes dans une analyse descriptive qualitative et clinique, basée sur une méthodologie s'appuyant sur l'analyse d'enregistrements vidéoscopiques, et le développement d'un codage issu du FACS (Facial Action Coding System). Une cohorte de référence a ainsi été constituée.

Après avoir validé notre méthodologie pour la caractérisation externe de la mimique, l'analyse des muscles peauciers par l'IRM a été réalisée sur 10 hémifaces parmi les sujets sains issus de la cohorte. Cette caractérisation a fait appel, à partir d'une *anatomie in vivo*, à une modélisation de certains muscles peauciers (*zygomaticus major* en particulier) afin d'extraire des paramètres morphologiques, de réaliser une analyse plus fine de la morphologie musculaire en 3 dimensions, et d'apporter une meilleure compréhension du comportement cinématique du muscle dans différentes positions.

Par son intégration dans un questionnaire plus vaste :

- *comment caractériser objectivement la mimique faciale ?*
- *quels sont les indicateurs qualitatifs et quantitatifs de la mimique que nous pouvons recueillir, et comment réaliser ce recueil ?*
- *comment utiliser les développements technologiques dans les applications cliniques ?*

ce travail constitue une étape préliminaire à d'autres travaux. Il pourra fournir des données de référence à des fins de modélisation, de simulation de la mimique faciale, ou de développements d'outil de mesures pour le suivi et l'évaluation des déficits de la mimique faciale.

MOTS CLES : Mimique Faciale, Muscles Peauciers, Segmentation, Reconstruction Tridimensionnelle, Morphométrie, FACS, IRM

